

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Stanovení rozsahu stavebně technických průzkumů železobetonových  
konstrukcí v kontaktu s agresivní vodou

Determination of building technical investigation range of reinforced  
concrete constructions in contact with aggressive water

Student:

Iva Hašlerová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Žídek

Ostrava 2014

## Zadání bakalářské práce

Student: **Iva Hašlerová**

Studijní program: **B3607 Stavební inženýrství**

Studijní obor: **3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb**

Téma: **Stanovení rozsahu stavebně technických průzkumů železobetonových konstrukcí v kontaktu s agresivní vodou**  
**Determination of building technical investigation range of reinforced concrete constructions in contact with aggressive water**

### Zásady pro vypracování:

Téma diplomové práce je zaměřeno na stanovení rozsahu stavebně technického průzkumu železobetonových konstrukcí, které jsou v přímém kontaktu s agresivní vodou. Diagnostika konstrukce musí objektivně zhodnotit rozsah poškození jednotlivých konstrukčních částí, tak aby bylo možné úspěšně provést jejich sanaci.

1. Úvod.
2. Přehled vad a poruch železobetonových konstrukcí v kontaktu s agresivní vodou.
3. Zkušební postupy vedoucí k identifikaci rozsahu poškození železobetonové konstrukce.
4. Požadavky na sanační materiály.
5. Přehled zkušebních postupů vedoucích ke správnému návrhu sanační technologie.
6. Závěry a doporučení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- Emmons P. H., Drochytka R., Jeřábek Z.: Sanace a údržba betonu v ilustracích, FINAL TISK Olomoučany, 1999, 334 s., ISBN: 0-87629-286-4.
- Drochytka R., a kol.: TP SSBK III, Reprocentrum, Blansko 2012, 265 s., ISBN: 978-80-260-2210-7.
- ČSN EN 1504-1: Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 1: Definice, 2006.
- ČSN EN 1504-2: Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 2: Systémy ochrany povrchu betonu, 2006.
- ČSN EN 1504-3: Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 3: Opravy se statickou funkcí a bez statické funkce, 2006.
- ČSN EN 1504-5: Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 5: Injektáž betonu, 2013.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Žídek**

Datum zadání: 31.10.2013

Datum odevzdání: 05.05.2014



---

Ing. Libor Žídek  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.  
děkanka fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....2.5.2014.....

.....


podpis studenta

Prohlašuji, že

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola bánská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst.3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavře licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladu, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění zákona (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

2.5.2014



## **Anotace bakalářské práce**

Tématem této bakalářské práce je stanovení rozsahu stavebně technických průzkumů, především doporučené četnosti zkoušek podle objemu zabudovaného betonu, v návaznosti na druhu a příčině degradace železobetonové konstrukce ve styku s agresivní vodou. Přehled zkušebních postupů je rozšířen o podrobnější zpracování chemických rozborů včetně diagnostických metod. Výsledkem je navržení vhodné sanace dle požadavků současné legislativy.

The theme of the bachelor thesis is range determination of construction - technical surveys, first of all a recommended frequency of testing according to the volume of the built-in concrete further to a kind and reason of a degradation of a steel-concrete construction in a contact with aggressive water. The overview of the testing procedures is extended to more detailed processing of the chemical analysis including diagnostic methods. The result is a project appropriate remediation as required by the current legislation.

## **Klíčová slova**

Diagnostika, porucha, vada, degradace, stavebně technický průzkum, agresivní voda, chemické rozbory, zkušební postupy

Diagnostic, breakdown, degradation, engineering investigation, aggressive water, chemical analyses, testing methods

## Obsah bakalářské práce

Názvosloví.....	8
1. Historie a současnost čistíren odpadních vod v českých zemích .....	10
2. Přehled vad a poruch železobetonových konstrukcí v kontaktu s agresivní vodou .....	12
2.1. Biokorozivní vlivy .....	12
2.2. Trhliny .....	12
2.3. Dilatační spáry .....	15
2.4. Karbonatace betonové konstrukce .....	15
2.5. Sulfatace betonové konstrukce .....	16
2.6. Koroze výztuže .....	16
2.7. Štěrková hnízda .....	16
2.8. Druh kameniva .....	17
2.9. Rozdílné působení teplot na konstrukci .....	18
3. Zkušební postupy vedoucí k identifikaci rozsahu poškození žb. konstrukce.....	19
3.1. Stavebně technický průzkum .....	19
3.2. Předběžný stavebně technický průzkum .....	19
3.3. Podrobný stavebně technický průzkum .....	20
3.4. Dodatečný stavebně technický průzkum .....	21
3.5. Doporučená četnost zkoušek pro předběžný a podrobný STP dle TP SSBK III .....	21
4. Požadavky na sanační materiály dle ČSN EN 1504 .....	27
4.1. Příprava konstrukce pro sanační zásah .....	27
4.2. Ochrana výztuže .....	28
4.3. Adhezní můstek .....	29
4.4. Sanační hmoty určené pro reprofilaci betonového podkladu.....	29
4.5. Povrchová úprava konstrukce – ochranný nátěr.....	32
4.6. Injektáž trhlin případně statické zpevnění konstrukce.....	34
5. Přehled zkušebních postupů vedoucích ke správnému návrhu sanační technologie .....	35
5.1. Nedestruktivní metody .....	35
5.2. Přehled nedestruktivních diagnostických metod .....	35
5.3. Destruktivní metody .....	41
5.4. Přehled destruktivních diagnostických metod .....	42
5.5. Chemické rozbory .....	43
6. Závěr .....	51
Seznam použité literatury .....	53

Seznam norem.....	55
Seznam článků.....	57
Seznam internetových odkazů.....	58
Seznam tabulek .....	59
Příloha fotodokumentace.....	60



## **Názvosloví [2]**

### **Adheze**

Vazba dvou povrchů, které jsou vázány fyzikálními silami působícími na jejich rozhraní.

### **Adhézní můstek**

Adhezivně působící povlak (mezivrstva) na předupraveném povrchu betonové konstrukce, zajišťující zvýšenou soudržnost (přilnavost) správkové malty s podkladním betonem.

### **Alkáliové rozpínání**

Alkalická reakce kameniva, znamenající chemickou reakci v maltě nebo betonu mezi alkáliemi (Na, K) z portlandského cementu nebo jiných zdrojů s amorfním SiO<sub>2</sub> z kameniva za přístupu vody.

### **Antikorozní ochrana výztuže**

Nátěr nebo nátěrový systém chránící očištěnou výztuž před korozí.

### **Betonový podklad**

Beton původní konstrukce pod prováděným systémem ochrany a opravy (náhradou betonu nebo jiným systémem).

### **Čerstvé na čerstvé (živé do živého)**

Nanášení cementem pojené malty nebo betonu na povrch podobného materiálu, u něhož ještě nezačalo tuhnutí.

### **Degradace**

Postupné a trvalé narušování betonu mající za následek pokles užitných parametrů betonu, v extrémních případech vedoucí až k jeho rozpadu.

### **Difúzně ekvivalentní tloušťka vzduchové vrstvy**

Tloušťka vzduchové vrstvy v metrech, mající stejný difúzní odpor vůči průniku H<sub>2</sub>O, případně CO<sub>2</sub>, jako hodnocený nátěr nebo nátěrový systém dané tloušťky, slouží k vyjádření difúzního odporu fyzikálně jednodušším způsobem.

### **Dilatační spára**

Mezera (prostor), oddělující jednotlivé konstrukční prvky nebo vrstvy, umožňující jejich nezávislou deformaci.

### **Doba tuhnutí**

Časový interval mezi smícháním maltoviny s vodou a jejím zatuhnutím.

**Dotvarování**

Deformace tělesa v čase při dlouhodobém zatížení.

**Drsnost**

Stupeň nerovnosti povrchu.

**Epoxidové pryskyřice**

Třída organických chemických vazebných systémů (polymerů), používaná při přípravě speciálních povlaků, nátěrů nebo lepidel pro beton nebo jako pojiva v epoxidových maltách a betonech.

**Eroze**

Rozpad povrchových vrstev betonu v důsledku působení degradačních vlivů.

**Injektovatelnost**

Schopnost injektážního výrobku pronikat do trhliny. Injektovatelnost je dána minimální šířkou trhliny, v milimetrech, do které je výrobek injektovatelný. V úvahu se berou následující šířky trhlin: 0,1 mm; 0,2 mm; 0,3 mm; 0,5 mm; 0,8 mm.

**Impregnace**

Proces vyplňování povrchových kapilár v pórovitém tělese polymerovou sloučeninou. Úprava betonů ke zmenšení povrchové porosity uzavřením pórů a zpevněním povrchu. Póry a kapiláry jsou částečně a nebo úplně zaplněny. Na povrchu betonu zpravidla vzniká nesusvislý tenký film s tloušťkou vrstvy od 10 μm do 100 μm.

**Inhibitor koroze**

Chemická sloučenina, která po přidání v malých koncentracích k betonu nebo maltě zastavuje a nebo omezuje korozi zabetonovaného kovu.

**Injektování**

Proces vpravování kapaliny o proměnlivé viskozitě do zeminy, rozštěpené horniny nebo betonu pro snížení propustnosti těchto materiálu a nebo zvýšení pevnosti materiálu.

**Karbonatace betonu**

Proces snižování alkality betonu v důsledku reakce  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ .

**Kontaminace**

Pronikání nežádoucích látek do betonu.

**Koroze výztuže**

Poškozování ocelové výztuže elektrochemickými nebo chemickými ději. Pokud alkalita betonu v okolí výztuže klesne pod pH 9,6, dochází ke ztrátě pasivace výztuže a mimořádně vzniká riziko její koroze.

# **1. Historie a současnost čistíren odpadních vod v našich zemích**

Historie odvádění odpadních vod se datuje od roku 1660, kdy v Praze byly vybudovány tzv. klementske stoky. Jednalo o se o příkopy původně určené k odvádění dešťových vod a splašků do Vltavy. Splachování stoky bylo řešeno tekoucí vodou z kašny na nádvoří Klementína.

V roce 1891 a 1892 začala Praha kromě zděných stok stavět i stoky betonové, které byly nákladově levnější než stoky zděné. Na stavebách stok se podílely betonářské firmy bratří Pažoutů, Hruza a Rosenberg a Podnikatelství betonových staveb inženýra Kalouska. [11] Kanalizace se rovněž začala budovat i v průmyslových podnicích jako je Holešovický pivovar a v továrnách v Císařském mlýně. Taktéž v Brně, severních Čechách a ve Slezsku bylo postupně započato se stavbou kanalizačních stok. Odpadní vody byly odváděny do Vltavy. S rostoucím množstvím obyvatel a zvýšenými hygienickými požadavky, Praha v roce 1899 schválila plány na stavbu první čistící stanice v České republice, v Praze - Bubenči. Stavba byla zahájena v roce 1901. [34] Objekt s názvem Stará čistírna byla uvedena do provozu 2.2.1905. Použitým stavebním materiálem byly speciální cihly tzv. zvonivky, které byly zabudovány do konstrukce v počtu 8.000.000. Stará čistírna v Bubenči je nejstarší čistírnou odpadních vod v České republice a v roce 2010 byla vyhlášena národní kulturní památkou. Praha v roce 1959 zahájila stavbu druhé čistírny odpadních vod v historii, jejíž stavba byla umístěna na Trojském ostrově. Stavba byla dokončena v roce 1967. Odpadní vody po částečném „vyčištění“ byly odváděny zpět do Vltavy.

Ve 20. století s masivním nárůstem průmyslu a počtem obyvatel měst a obcí, započala pomocí legislativy ochrana životního prostředí. Jednou z oblastí, kam ochrana životního prostředí nesporně patří, je vypouštění všech druhů znečištěných odpadních vod do vodních toků, recipientů. Česká republika v 90. letech minulého století začala financovat stavby čistíren odpadních vod (ČOV) a po vstupu do Evropské unie započala s naplňováním směrnice Rady č. 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod. Na základě těchto skutečností Ministerstvo životního prostředí spustilo Operační program životního prostředí pro obce a města, které mohly žádat finanční prostředky pro vybudování odkanalizování

svého území a výstavbu čistíren odpadních vod. [29] S touto finanční podporou vzniklo několik desítek nových čistíren odpadních vod.

Čistírna odpadních vod čistí odpadní vody z domácností a průmyslových podniků, které jsou přiváděny do ČOV, kde jsou následně upravovány tak, aby mohly být vypouštěny zpět do recipientů s tím, že již neobsahují nebezpečné a zatěžující látky pro životní prostředí. ČOV je většinou navržena jako mechanicko biologická. Čištění odpadních vod ve větších městech probíhá mechanicky, biologicky a chemicky v nádržích ze železobetonu. Odpadní vody obsahují těžké kovy, sírany, fosforečnany a mnoho jiných nebezpečných látek, které způsobí postupnou degradaci železobetonových konstrukcí, a tím zkrátí požadovanou dobu životnosti konstrukce. To má za následek nutnou brzkou sanaci železobetonové konstrukce.

Stanovení rozsahu stavebně technických průzkumů železobetonových konstrukcí v kontaktu s agresivní vodou patří k často opomíjeným krokům současné stavební praxe. Děje se tak buď z neznalosti problematiky metodiky sanací betonových konstrukcí nebo z ekonomických důvodů investora. Vliv životního prostředí v 21. století pro konstrukce není zanedbatelný. Dochází ke stále častějším degradacím stavebně „mladších“ objektů, neboť působení agresivních chemikálií, plynů, biokorozivní vlivů, technických a technologických pochybení při výstavbě vede často k vadám a poruchám na konstrukcích. Cílem mé bakalářské práce je stanovení rozsahu stavebně technických průzkumů železobetonových konstrukcí v kontaktu s agresivní vodou. Pomocí diagnostických metod posoudit skutečný technický stav konstrukce s výsledným efektivním návrhem projektu sanace betonové konstrukce. Hlavním požadavkem sanací je prodloužení životnosti stavby a plnění její funkce, pro kterou byla postavena a za ekonomicky přijatelné náklady.

## **2. Přehled vad a poruch železobetonových konstrukcí v kontaktu s agresivní vodou**

### **2.1. Biokorozivní vlivy**

Degradační procesy na železobetonových konstrukcích jsou taktéž způsobeny biologickými vlivy. Mezi biologické vlivy patří vegetace a živé organismy, které si vysloužily technický termín biokoroze stavebních materiálů. [6] Biokorozi podle prostředí můžeme rozdělit na biokorozi atmosférickou, půdní a vodní. Mikroorganismy, jejichž součástí jsou plísňe, řasy, houby a bakterie v odpadních vodách, způsobují největší opotřebení betonových konstrukcí. Rozmezí optimálního pH pro růst mikroorganismů se pohybuje v rozmezí pH 4 až 10 [13], ale není výjimkou i hodnota blízká se pH 0. Vlivem bakterií dochází k přeměně síranů v sulfidy (vody s vysokou koncentrací sulfátů, které reagují s hliníkem trivápenatým  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{C}_3\text{A}$ ) za vzniku enttringitu  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ , který nabývá na objemu a krystalizačním tlakem narušuje betonovou konstrukci. [29] Přítomná nitrifikační bakterie vytváří na konstrukci soli dusičnanu draselného. Síranová koroze vzniká při růstu koncentrace síranů za účasti bakterií *Acidithiobacillus thiooxidans* a *ferrooxidans* a chloridů. [29] Jednotlivé mikroorganismy mezi sebou vzájemně spolupůsobí a spolupracují, přičemž dochází ke vzniku jednotlivých druhů kyselin. Pro stavební konstrukci to znamená rychlý a nevratný korozivní proces. Některá chemická složení přísad a příměsí do betonu, které jsou při zpracování betonové směsi běžně používány, jsou taktéž potravou pro mikroorganismy a způsobují biologickou degradaci konstrukce. Tato skutečnost je při návrzích železobetonových konstrukcí mnohdy opomíjena.

### **2.2. Trhliny**

Mezi nejfrekventovanější poruchy betonových konstrukcí patří trhliny. Trhliny mohou vznikat jako následek technologické nekázně při zpracování betonu. Jedná se především o nesprávné ošetřování uložené betonové směsi, alkalicko křemičitou reakci kameniva, vliv objemových změn na konstrukci, střídáním teplotních změn na konstrukci, pronikání vlhkosti

do konstrukce, pronikání agresivních medií a v neposlední řadě zatížením a přetížením konstrukce. Následně pak může dojít ke snížení bezpečnosti konstrukce.

Vznik trhlin je způsoben deformačními účinky objemových změn materiálu nebo tlakovým napětím v betonové konstrukci. Trhliny dělíme na trhliny pasivní, jejichž rozšiřování již dále stagnuje a aktivní tzv. „živé“, které je nutné sledovat a v případě možného ohrožení stability konstrukce provést okamžité opatření k zajištění bezpečnosti.

### **Rozdělení trhlin podle působících sil**

- Tahové trhliny
- Smršťovací trhliny
- Smykové trhliny
- Tlakové trhliny
- Trhliny způsobeny korozi betonářské výztuže
- Trhliny způsobeny vlivem střídání teplot
- Trhliny způsobeny nefunkčními nebo chybějícími dilatačními spárami

### **Tahové (ohybové) trhliny**

Vznikají u tažených částí nosníku, z čehož vyplývá, že mohou být také nazývány trhlínami ohybovými. Při průzkumech nacházíme tahové trhliny u konstrukcí, které jsou namáhány na ohyb (stropní desky, nosníky, průvlaky apod.). Trhlina vzniká překročením pevnosti v tahu ztvrdlého betonu. Průběh tahových trhlin bývá z velké většiny kolmý k hlavní nosné výztuži. Tahová (ohybová) trhlina neprochází zrny kameniva. [35]

### **Smršťovací trhliny**

Smršťovací trhliny vznikají v důsledku nevhodně ošetřovaného čerstvě uloženého betonu. Problém vzniká rychlým vysycháním a odpařováním záměsové vody vzhledem k okolní teplotě prostředí. V povrchových vrstvách dochází ke vzniku tahových napětí a vzniku smršťovacích trhlin. Hodnota smrštění je cca 0,7 mm/m za příznivých podmínek u betonáže, při vysokých teplotách může trhlina dosahovat šířky až 5,0 mm/m.

## **Smykové trhliny**

Smykové trhliny vznikají v místech s působením posouvajících sil a kroutících momentů pod úhlem  $30^\circ$  až  $60^\circ$  k ose hlavní nosné výztuže. Smykové trhliny většinou vznikají u napojení svislých a vodorovných částí konstrukce. [35]

## **Tlakové trhliny**

Tlakové trhliny můžeme nazývat též trhlinami statickými. Vznikají působením tlakových napětí v betonové konstrukci. Podílejí se na vzniku podélných trhlin, přičemž působením času se prodlužují a jsou největší v místech maximálních ohybových momentů. [1]

## **Trhliny způsobené korozí výztuže**

Trhliny vznikající vlivem koroze výztuže a jsou důsledkem tlakových sil, které působí u narušení krycí vrstvy a postupnému vzniku koroze výztuže. Podrobněji je tato problematika popsána v části 2.6.

## **Trhliny způsobené vlivem střídání teplot**

Trhliny způsobené vlivem střídání teplot jsou způsobeny objemovými změnami vody, která je přítomna v netěsných povrchových vrstvách betonové konstrukce s pomocí působení mrazu. Další možností je vznik trhlin u železobetonových nádrží, které mají vnitřní část konstrukce zaplněnou vodou s teplotou vody, která je stabilně nad  $0^\circ \text{C}$  a vnější konstrukcí železobetonu, která vlivem mrazu promrzá.

## **Trhliny způsobené nefunkčními nebo chybějícími dilatačními spárami**

Trhliny v konstrukci se také mohou vytvořit, pokud dilatační spáry byly při „sanačních zásazích“ prováděcí firmou vyhodnoceny za nepotřebné a nadbytečné. To znamená, že dilatační spáru, která plnila funkci oddílování dvou samostatných celků, zapraví sanační maltou. Dochází ke vzniku napětí, což má za následek vytvoření trhlin. Pokud při návrhu konstrukce projektantem dojde k opomenutí při řešení volného pohybu konstrukce, dochází k jejímu porušení vznikem trhlin. Podrobněji je tato problematika popsána v části 2.3.

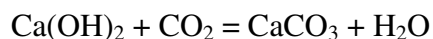
### 2.3. Dilatační spáry

Dilatační spáry jsou spáry, kterými rozdělujeme konstrukci na kratší samostatné celky, které umožní pohyb konstrukci ve vodorovném a svislém směru, neboť slouží k zabránění vzniku trhlin. Důležitou vlastností dilatačních spár je umožnění konstrukci její postupné dotvarování, smrštění a objemové změny v závislosti na teplotě, jak konstrukce, tak i teplotě prostředí. Vzdálenost dilatačních spár závisí na druhu konstrukce a jejím vyztužení. Konstrukce monolitické vyrobené ze železobetonu mají dilatační spáry ve větších vzdálenostech 25 až 30 m, jelikož jsou vyztuženy tahovou výztuží, která přenese tahová napětí. U konstrukcí vystavených vlivům klimatických změn se vzdálenost snižuje na 10 až 15 m. Jestliže znemožníme konstrukci volný pohyb ve všech směrech, dochází k postupné degradaci konstrukce a to tím, že začnou vznikat trhliny v místech, kde by měla být dilatační spára konstrukčně realizována. Nejslabší místo v konstrukci je dalším vhodným místem pro vznik trhlin. Vzniklými trhlinami v konstrukci začnou vnikat agresivní látky, které způsobí postupné poškození konstrukce.

### 2.4. Karbonatace betonové konstrukce

Vzájemným působením cementového kamene a plynného oxidu uhličitého vzniká karbonatace betonu. Jedná se o snižování alkality povrchových vrstev betonu v důsledku reakce hydroxidu vápenatého  $\text{Ca(OH)}_2$  a vzdušného oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$ . Působením  $\text{CO}_2$  nastává postupná přeměna vazných hydratačních produktů cementu v betonu (C-S-H fáze), především portlanditu  $\text{Ca(OH)}_2$  na kalcit, aragonit a laterit (krystalické modifikace uhličitánu vápenatého  $\text{CaCO}_3$ ). [32] Vzniklou chemickou reakcí dochází ke snížení alkality betonu, kdy se dostává hodnota pH pod 9,6. Dosažením hranice  $\text{pH} < 9,6$  již dochází k narušení krycí betonové vrstvy, která zajišťuje ochranu výztuže před korozivními vlivy a následuje depasivace výztuže. Dochází k postupným korozivním změnám na výztuži, vzniku rzi a postupného úbytku z tloušťky profilu betonářské výztuže.

Karbonataci betonu lze zjednodušeně vyjádřit rovnicí. [32]





## 2.5. Sulfatace

V průmyslových oblastech dochází k vypouštění různých druhů agresivních plynů ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}$  apod.) do ovzduší. Zdravotní rizika pro místní obyvatelstvo nejsou zanedbatelná, jsou zde i rizika způsobující degradace železobetonových konstrukcí. Koroze cementového tmele vzniká při reakci vzdušného  $\text{SO}_2$  a  $\text{Ca(OH)}_2$ . Tento děj se nazývá sulfatace betonu. Koroze oxidem siřičitým spolu s vzdušnou vlhkostí, dochází k napadení C-S-H gelů, přičemž dochází ke ztrátě alkality betonu a k následné korozi výztuže, včetně porušení povrchových vrstev betonu. Oxid siřičitý je velmi agresivní, neboť napadá i produkty karbonatace ( $\text{CaCO}_3$ ), čímž vzniká síran vápenatý  $\text{CaSO}_4$ . Ten spolu se vzdušnou vlhkostí vytváří v mikrostruktuře betonu v menším zastoupení hemihydrát (sádro) a hojném zastoupení dihydrát (sádrovec). Pod elektronovým mikroskopem v mikrostruktuře objevíme sádrovec a ettringit. [3]

## 2.6. Koroze výztuže

Čerstvý beton má stupeň pH 12 až 12,5. Hodnota pH 9,6 až 12 znamená, že je beton alkalický a ocelová výztuž je pokryta ochrannou vrstvou a je pasivována. Pokud dojde vlivem agresivních médií k postupnému snížení alkality betonu pod hodnotu pH 9,6, dochází k depasivaci výztuže a ke vzniku korozních produktů železa. Vlivem rozpínavosti korozních produktu železa (rzi), jejichž objem je 2,5 krát větší než je objem ocelové výztuže, dochází vlivem tlakových napětí k odtržení betonu od výztuže a vznikají trhliny. Vzniklými trhlinami proudí dovnitř konstrukce veškeré agresivní látky přímo k ocelové výztuži. Po čase dochází ke karbonataci a sulfataci betonu. Železobetonová konstrukce ztrácí svou pevnost a vlivem narušené krycí vrstvy se začíná rozpadat. To má za následek snížení únosnosti konstrukce.

## 2.7. Štěrková hnízda

Štěrková hnízda vznikají segregací jednotlivých složek betonu, přičemž kamenivo není obaleno cementovým tmelem, čímž vznikají dutá místa v betonu.

### **Příčiny vzniku [3, 39]**

- Při návrhu výztuže hustota a spletení výztuže nedovolí propustit zrna kameniva v betonu
- Bednění - netěsností bednění ve spárách a napojení bednicích dílců, přičemž dojde k odplavení cementového tmele, řídká betonová směs
- Konstrukční podmínky - minimální krytí výztuže, která je umístěna blízko bednění
- Vlastnost čerstvé betonové směsi - nedostatečné množství drobného kameniva, nízká zpracovatelnost, nevhodná křivka zrnitosti
- Ukládání směsi - výška pádu betonové směsi, rozměšování
- Zhutňování - nevhodně zvolený druh vibrátoru, krátká doba vibrace, žádné zhutnění

## **2.8. Druh kameniva**

Hlavní funkcí kameniva je vytvoření pevné výplně betonu s minimální mezerovitostí. To znamená, že výběr kameniva, jeho granulometrie je určující pro množství vody, které je potřebné pro absorpci povrchu zrn a pro výpočet množství cementového tmele k obalení zrn kameniva. Jedním z velkých nebezpečí, které mohou vést až k rozpadu betonu, vzniku trhlin a v nejhorším případě zborcení celé konstrukce, je alkalicko-křemičitá reakce (AKR). AKR vzniká pomocí fyzikálně chemických reakcí, přičemž dochází k reakci mezi kamenivem obsahujícím  $\text{SiO}_2$  a alkalickými roztoky, obsaženými v betonu. Pokud cement obsahuje větší množství alkalických oxidů ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) dochází mezi kamenivem a alkáliemi k alkalicko-křemičitanové reakci ve spojení s vysokou vlhkostí betonu za vzniku alkalicko-křemičitého gelu. První trhliny vznikají uvnitř zrn, které postupují k povrchu kameniva, čímž postupně vzniká celoplošná síť trhlin. Beton zvětšuje svůj objem, ale je bez trhlin na povrchu konstrukce. Trhliny uvnitř kameniva, v pórech a v maltě vyplňuje průhledný nebo bílý gel. Výkvěty se mohou objevit i na povrchu konstrukce, které jsou jedním ze znaků AKR. Pevnost betonu v tlaku, tahu a modul pružnosti při zvětšování objemu betonu klesá. Dochází k viditelným trhlinám na povrchu betonu s vytékajícím gelem, který postupně zasychá. Napětím dochází až k roztrhání struktury betonu, což má za následek trvalou destrukci konstrukce, spolu s ohrožením stability a bezpečnosti stavby. [10, 34]

## **2.9. Rozdílné působení teplot na betonovou konstrukci**

Změnami teploty i vlhkosti jsou nejvíce zatíženy povrchové vrstvy betonu. Vlivem střídání teplot jsou způsobeny objemové změny mezi povrchem konstrukce a jeho jádrem, které mají rozdílnou teplotu a vlhkost a dochází k vnitřnímu napětí. Beton se zvýšením teploty roztahuje a snížením teploty se objem zmenšuje. U železobetonových nádrží, které mají vnitřní část konstrukce naplněnou vodou, jsou rozdílné hodnoty teplot u vnitřní části nádrže a vnější části nádrže a dochází k rozdílné tepelné roztažnosti betonu. V létě je vnější část železobetonové konstrukce nahřívána sluncem a vnitřní část je chlazena vodou v nádrži, přičemž rozdíl teplot může dosáhnout až 20° C. V zimních měsících na vnější plášť konstrukce působí mráz a jádro promrzá a vnitřní část je teplotně stabilně nad 0° C a opět dochází k rozdílným teplotám obou konstrukcí. Vlivem těchto teplotních změn vzniká napětí v konstrukci. Pokud se konstrukce nemůže volně deformovat chybějícími dilatačními spárami, dochází k objemovým změnám materiálu a vzniku trhlin s následným olupováním povrchových vrstev betonu. [12]

### **3. Zkušební postupy vedoucí k identifikaci rozsahu poškození železobetonové konstrukce**

#### **3.1. Stavebně technický průzkum**

Stavebně technický průzkum (STP) slouží k dosažení maximálně možných informací o stavu kontrolované konstrukce s cílem navrhnout efektivní opatření pro nápravu, pomocí diagnostických metod. Jednotlivé metody řeší zkušební postupy přímo na konstrukci nebo v laboratorních podmínkách. Diagnostické metody musí být zvoleny tak, aby byly ekonomicky přijatelné s jasnými vypovídajícími výsledky pro další použití statikem a projektantem. STP provádíme na základě požadavku investora nebo vlastníka objektu, který potřebuje zjistit aktuální stav konstrukce.

#### **Druhy stavebně technických průzkumů**

- Předběžný STP
- Podrobný STP
- Doplnkový STP

#### **3.2. Předběžný STP**

Předběžný průzkum zahrnuje získání původních dokladů ke stavbě, včetně provedení vizuální prohlídky konstrukce. Kontrolou zjistíme předběžně stav konstrukce, degradovaná místa, trhliny a jiné viditelné vady. Vizuální vady označíme na konstrukci a zakreslíme do původní dokumentace stavby, která by měla obsahovat statické posouzení konstrukce. Součástí kontroly je fotodokumentace stavby se zjištěnými vadami. Dokumentace skutečného provedení stavby (DSP) patří k důležitým podkladům pro zahájení průzkumných prací. Jestliže projektová dokumentace není zachována, je zadán požadavek na zadavatele STP k vypracování projektové dokumentace skutečného stavu konstrukce. Projektová dokumentace bude vypracována ve zjednodušené verzi, která bude obsahovat: [2]

- Půdorys
- Příčný a podélný řez
- Pohled
- Technickou zprávu

Dalším nezbytným podkladem je stavební deník, v němž jsou zaznamenány informace o průběhu výstavby objektu, včetně roku dokončení stavby, podklady o pravidelných ročních prohlídkách, záznamy o rekonstrukcích, sanacích a případných haváriích.

### **3.3. Podrobný STP**

Podrobný STP zahrnuje přeměření všech konstrukcí a kontrolu stávajícího technického stavu konstrukce, včetně zjištění vad a poruch. Pokud z důvodu absence DSP musela být vypracována projektantem dokumentace současného stavu konstrukce, tak k přeměření konstrukcí nedochází. Cílem podrobného průzkumu je zpráva, která zhodnotí stav konstrukce s návrhem na efektivní technologický postup pro sanaci konstrukce. Na základě zprávy z průzkumu je zpracován projekt sanace, včetně kalkulace nákladů sanace a statické posouzení konstrukce. K technickému zjištění stavu konstrukce u STP slouží diagnostické metody, které jsou prováděny in situ (na místě v terénu) a ex situ (v laboratoři).

#### **Rozsah diagnostických metod určuje [2]**

- Velikost konstrukce
- Složitost a přístup ke konstrukci
- Rozsah degradace konstrukce
- Stáří konstrukce
- Požadavek investora

#### **Rozdělení diagnostických metod [2]**

- Vizuální kontrola
- Fyzikálně mechanické parametry betonu a oceli

- Stav koroze betonu a oceli
- Zjištění polohy výztuže
- Stav povrchových úprav
- Zatěžovací zkoušky

### **3.4. Dodatečný STP**

Dodatečný průzkum doplňuje a zpřesňuje předchozí dva průzkumy. Dodatečný průzkum může být vyžádán pro provedení speciálních diagnostických metod, které při diagnostice objektu nebyly potřebné a vyvstaly na základě již probíhajících sanačních prací.

### **3.5. Doporučená četnost zkoušek pro předběžný a podrobný STP dle TP SSBK III [2]**

Doporučená četnost zkoušek pro předběžný a podrobný stavebně technický průzkum slouží pro rychlou orientaci v počtu a druhu diagnostických metod pro jednotlivé konstrukce a stavební materiály. Nedestruktivními a destruktivními zkouškami zjistíme kvalitativní a kvantitativní podklady pro výsledné vyhodnocení STP a souhrn podkladů pro následné rozhodnutí o provedení sanace konstrukce.

Tab.1 Doporučené četnosti zkoušek pro předběžný stavebně technický průzkum [2]

Přehled diagnostických metod	Druh zkoušky	Doporučená četnost zkoušek pro „malý“ objekt - objem zabudovaného betonu do 50 m <sup>3</sup>	Doporučená četnost zkoušek pro „střední“ objekt - objem zabudovaného betonu 51 až 300 m <sup>3</sup>	Doporučená četnost zkoušek pro „velký“ objekt - objem zabudovaného betonu nad 300 m <sup>3</sup>
1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8), 10), 11)	Typ a rozsah porušení povrchové úpravy	50% povrchu vyšetřované konstrukce	50% povrchu vyšetřované konstrukce	50% povrchu vyšetřované konstrukce
	Rozsah porušení povrchové úpravy vrstvy betonu a koroze výztuže	50% povrchu vyšetřované konstrukce	50% povrchu vyšetřované konstrukce	50% povrchu vyšetřované konstrukce
	Vady z výroby a poruchy vzniklé provozem	50% povrchu vyšetřované konstrukce	50% povrchu vyšetřované konstrukce	50% povrchu vyšetřované konstrukce
	Zjištění vlivů zabudované technologie	50% povrchu vyšetřované konstrukce	50% povrchu vyšetřované konstrukce	50% povrchu vyšetřované konstrukce
7), 8)	Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu	Při ploše povrchu konstrukce do 50 m <sup>2</sup> 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> další 3 zkoušky	Při ploše povrchu konstrukce do 80 m <sup>2</sup> 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> další 3 zkoušky	Při ploše povrchu konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 5 zkoušek, za každých dalších i započatých 400 m <sup>2</sup> další 3 zkoušky
7), 10), 11), 12), 13), 14)	Hloubka karbonatace	Při ploše povrchu konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 5 zkoušek, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> další 2 zkoušky	Při ploše povrchu konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> další 2 zkoušky	Při ploše povrchu konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 400 m <sup>2</sup> další 2 zkoušky
4) - Schmidtův tvrdoměr, 7) - pevnost tlaku 15)	Pevnost v tlaku	<p>Při objemu betonu konstrukce do 30 m<sup>3</sup> 3 vývrty o průměru 100 mm a 16 nedestruktivních zkoušek, za každých dalších i započatých 10 m<sup>3</sup> další 1 vývrt a 8 nedestruktivních zkoušek. Při použití menších průměrů vývrťů z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrťů na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1</p> <p>V případě nemožnosti provedení nedestruktivních zkoušek se při objemu betonu konstrukce do 30 m<sup>3</sup> provede 5 vývrťů o průměru 100 mm, za každých dalších i započatých 10 m<sup>3</sup> další 2 vývrty. Při použití menších průměrů vývrťů z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrťů na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1</p>	<p>Při objemu betonu konstrukce do 60 m<sup>3</sup> 3 vývrty o průměru 100 mm a 16 nedestruktivních zkoušek, za každých dalších i započatých 50 m<sup>3</sup> další 2 vývrty a 10 nedestruktivních zkoušek. Při použití menších průměrů vývrťů z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrťů na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1</p> <p>V případě nemožnosti provedení nedestruktivních zkoušek se při objemu betonu konstrukce do 50 m<sup>3</sup> provedou 3 vývrty o průměru 100 mm, za každých dalších i započatých 30 m<sup>3</sup> další 1 vývrt. Při použití menších průměrů vývrťů z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrťů na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1</p>	<p>Při objemu betonu konstrukce do 100 m<sup>3</sup> 4 vývrty o průměru 100 mm a 20 nedestruktivních zkoušek, za každých dalších i započatých 100 m<sup>3</sup> další 3 vývrty a 20 nedestruktivních zkoušek. Při použití menších průměrů vývrťů z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrťů na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1</p> <p>V případě nemožnosti provedení nedestruktivních zkoušek se při objemu betonu konstrukce do 100 m<sup>3</sup> provedou 4 vývrty o průměru 100 mm, za každých dalších i započatých 50 m<sup>3</sup> další 1 vývrt. Při použití menších průměrů vývrťů z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrťů na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1</p>

7), 15), 16), 17), 18), 19)	Koroze výztuže	Při ploše povrchu konstrukce do 100 m <sup>2</sup> destruktivně (odsekáním krycí vrstvy) 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 300 m <sup>2</sup> povrchu další 1 zkouška. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká nebo žebírková apod.)	Při ploše povrchu konstrukce do 200 m <sup>2</sup> destruktivně (odsekáním krycí vrstvy) 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 500 m <sup>2</sup> povrchu další 1 zkouška. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká nebo žebírková apod.)	Při ploše povrchu konstrukce do 200 m <sup>2</sup> destruktivně (odsekáním krycí vrstvy) 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 800 m <sup>2</sup> povrchu další 1 zkouška. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká nebo žebírková apod.)
1), 2), 6), 16), 17), 18),	Tloušťka krycí betonové vrstvy	Při ploše povrchu celé konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 3 zkoušky destruktivně odsekáním a 10 zkoušek nedestruktivně, za každých dalších i započatých 500 m <sup>2</sup> další 3 zkoušky destruktivně odsekáním a 20 zkoušek nedestruktivně. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká a nebo žebírková apod.)	Při ploše povrchu celé konstrukce do 150 m <sup>2</sup> 3 zkoušky destruktivně odsekáním a 10 zkoušek nedestruktivně, za každých dalších i započatých 500 m <sup>2</sup> další 3 zkoušky destruktivně odsekáním a 20 zkoušek nedestruktivně. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká a nebo žebírková apod.)	Při ploše povrchu celé konstrukce do 150 m <sup>2</sup> 3 zkoušky destruktivně odsekáním a 10 zkoušek nedestruktivně, za každých dalších i započatých 500 m <sup>2</sup> další 3 zkoušky destruktivně odsekáním a 20 zkoušek nedestruktivně. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká a nebo žebírková apod.)
8), 9)	Přílnavost nátěrového systému k podkladu	Při ploše povrchu celé konstrukce do 50 m <sup>2</sup> 3 stanovení odtrhovou zkouškou a 5 mřížkovou zkouškou, za každých dalších i započatých 100 m <sup>2</sup> další 2 stanovení odtrhovou zkouškou a 2 mřížkovou zkouškou	Při ploše povrchu celé konstrukce do 50 m <sup>2</sup> 3 stanovení odtrhovou zkouškou a 5 mřížkovou zkouškou, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> další 2 stanovení odtrhovou zkouškou a 2 mřížkovou zkouškou	Při ploše povrchu celé konstrukce do 50 m <sup>2</sup> 3 stanovení odtrhovou zkouškou a 3 mřížkovou zkouškou, za každých dalších i započatých 300 m <sup>2</sup> další 2 stanovení odtrhovou zkouškou a 2 mřížkovou zkouškou
6), 15), 19)	Tloušťka nátěrového systému	Při ploše povrchu celé konstrukce do 50 m <sup>2</sup> 5 stanovení, za každých dalších i započatých 100 m <sup>2</sup> další 2 stanovení	Při ploše povrchu celé konstrukce do 80 m <sup>2</sup> 5 stanovení, za každých dalších i započatých 100 m <sup>2</sup> další 2 stanovení	Při ploše povrchu celé konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 5 stanovení, za každých dalších i započatých 150 m <sup>2</sup> další 2 stanovení

- |                             |                          |                |
|-----------------------------|--------------------------|----------------|
| 1) vizuální kontrola        | 11) pH roztoku           | 21) uchýlkoměr |
| 2) akustické trasování      | 12) REM                  | 22) tenzometr  |
| 3) podrobná analýza trhlin  | 13) DTA analýza          |                |
| 4) tvrdoměrné metody        | 14) RTG analýza          |                |
| 5) optické metody           | 15) UZ impulsní metoda   |                |
| 6) elektromagnetická metoda | 16) radiografická metoda |                |
| 7) odběr jádrových vývrtů   | 17) termografická metoda |                |
| 8) odtrhová zkouška         | 18) sekaná sonda         |                |
| 9) mřížková metoda          | 19) vryp                 |                |
| 10) FF test                 | 20) deformetr            |                |



Tab. 2 Doporučené četnosti zkoušek pro podrobný stavebně technický průzkum [2]

Přehled diagnostických metod	Druh zkoušky	Doporučená četnost zkoušek pro „malý“ objekt - objem zabudovaného betonu do 50 m <sup>3</sup>	Doporučená četnost zkoušek pro „střední“ objekt - objem zabudovaného betonu 51 až 300 m <sup>3</sup>	Doporučená četnost zkoušek pro „velký“ objekt - objem zabudovaného betonu nad 300 m <sup>3</sup>
1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8), 10), 11), 16), 18), 20), 21), 22)	Typ a rozsah porušení povrchové úpravy	100% povrchu vyšetřované konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu)	100% povrchu vyšetřované konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu)	100% povrchu vyšetřované konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu)
	Rozsah porušení povrchové úpravy vrstvy betonu a koroze výztuže	100% povrchu vyšetřované konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu)	100% povrchu vyšetřované konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu)	100% povrchu vyšetřované konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu)
	Vady z výroby a poruchy vzniklé provozem	Celá konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu, resp. prvků)	Celá konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu, resp. prvků)	Celá konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu, resp. prvků)
	Stav uložení, průhyby a deformace nosných železobetonových prvků	Všechny nosné prvky (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit pouze část prvku)	Všechny nosné prvky (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit pouze část prvku)	Všechny nosné prvky (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit pouze část prvku)
	Zjištění vlivů zabudované technologie	Celá konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu)	Celá konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu)	Celá konstrukce (v případě nepřístupnosti lze vyšetřit i menší část povrchu)
	Rozsah poškození doplňkových konstrukcí, zejména ocelových	Všechny doplňkové konstrukce	Všechny doplňkové konstrukce	Všechny doplňkové konstrukce
1), 7), 8)	Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu	Při ploše povrchu celé konstrukce do 25 m <sup>2</sup> 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 50 m <sup>2</sup> další 3 zkoušky	Při ploše povrchu celé konstrukce do 25 m <sup>2</sup> 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 100 m <sup>2</sup> další 3 zkoušky	Při ploše povrchu celé konstrukce do 150 m <sup>2</sup> 6 zkoušek, za každých dalších i započatých 1000 m <sup>2</sup> další 3 zkoušky
7), 10), 11), 12), 13), 14)	Hloubka karbonatace	Při ploše povrchu celé konstrukce do 50 m <sup>2</sup> 6 zkoušek, za každých dalších i započatých 50 m <sup>2</sup> další 1 zkouška	Při ploše povrchu celé konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 6 zkoušek, za každých dalších i započatých 50 m <sup>2</sup> další 1 zkouška	Při ploše povrchu celé konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 5 zkoušek, za každých dalších i započatých 500 m <sup>2</sup> další 2 zkoušky
4) – Schmidtův tvrdoměr, 7) – pevnost v tlaku, 8)	Pevnost v tlaku	Při objemu betonu konstrukce do 30 m <sup>3</sup> 3 vývrtky o průměru 100 mm a 16 nedestruktivních zkoušek, za každých dalších i započatých 10 m <sup>3</sup> další 1 vývrtka a 8 nedestruktivních zkoušek. Při použití menších průměrů vývrtků z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrtků na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1	Při objemu betonu konstrukce do 60 m <sup>3</sup> 3 vývrtky o průměru 100 mm a 16 nedestruktivních zkoušek, za každých dalších i započatých 50 m <sup>3</sup> další 2 vývrtky a 10 nedestruktivních zkoušek. Při použití menších průměrů vývrtků z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrtků na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1	Při objemu betonu konstrukce do 100 m <sup>3</sup> 4 vývrtky o průměru 100 mm a 20 nedestruktivních zkoušek, za každých dalších i započatých 100 m <sup>3</sup> další 3 vývrtky a 20 nedestruktivních zkoušek. Při použití menších průměrů vývrtků z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrtků na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1

4) – Schmidtův tvrdoměr, 7) – pevnost v tlaku, 8)	Pevnost v tlaku	V případě nemožnosti provedení nedestruktivních zkoušek se při objemu betonu konstrukce do 30 m <sup>3</sup> provede 5 vývrtů o průměru 100 mm, za každých dalších i započatých 10 m <sup>3</sup> další 2 vývrty. Při použití menších průměrů vývrtů z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrtu na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1	V případě nemožnosti provedení nedestruktivních zkoušek se při objemu betonu konstrukce do 50 m <sup>3</sup> provedou 3 vývrty o průměru 100 mm, za každých dalších i započatých 30 m <sup>3</sup> další 1 vývrt. Při použití menších průměrů vývrtů z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrtu na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1	V případě nemožnosti provedení nedestruktivních zkoušek se při objemu betonu konstrukce do 100 m <sup>3</sup> provedou 4 vývrty o průměru 100 mm, za každých dalších i započatých 50 m <sup>3</sup> další 1 vývrt. Při použití menších průměrů vývrtů z důvodu velikosti prvků či přístupnosti konstrukce, lze doporučit zvýšit četnost odběru vývrtu na dvojnásobek a při vyhodnocení vzít v úvahu velikost vzorku a kameniva např. dle ČSN 731317 nebo EN 12504-1
7) – statický modul pružnosti 15) – dynamický modul pružnosti,	Modul pružnosti	Alespoň 3 vývrty o průměru 100 mm na 100 m <sup>3</sup> betonu, případně je specifikováno dle konstrukčního významu prvku	Alespoň 3 vývrty o průměru 100 mm na 100 m <sup>3</sup> betonu, případně je specifikováno dle konstrukčního významu prvku	Alespoň 5 vývrtů o průměru 100 mm na 350 m <sup>3</sup> betonu, případně je specifikováno dle konstrukčního významu prvku
7) – objemová hmotnost	Objemová hmotnost	Četnost podle odebraných vývrtů pro stanovení pevnosti v tlaku	Četnost podle odebraných vývrtů pro stanovení pevnosti v tlaku	Četnost podle odebraných vývrtů pro stanovení pevnosti v tlaku
7), 10), 11), 12), 13), 14)	Míra degradace a kontaminace betonu	Při objemu betonu konstrukce do 10 m <sup>3</sup> obvykle alespoň 3 vzorky odebrané v různé hloubce konstrukce, pro větší objem se určí individuálně	Při objemu betonu konstrukce do 70 m <sup>3</sup> obvykle alespoň 3 vzorky odebrané v různé hloubce konstrukce, pro větší objem se určí individuálně s ohledem na podmínky exploatace. Souhrnně alespoň 12 vzorků na 300 m <sup>3</sup> betonu	Při objemu betonu konstrukce do 350 m <sup>3</sup> obvykle alespoň 15 vzorků odebrané v různé hloubce konstrukce, pro větší objem se určí individuálně s ohledem na podmínky exploatace. Souhrnně alespoň 20 vzorků na 3000 m <sup>3</sup> betonu
7) – zk. vodotěsnosti, in situ	Povrchová nasákavost	Při ploše povrchu konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 100 m <sup>2</sup> další 1 zkouška	Při ploše povrchu konstrukce do 200 m <sup>2</sup> 5 zkoušek, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> další 1 zkouška	Při ploše povrchu konstrukce do 200 m <sup>2</sup> 5 zkoušek, za každých dalších i započatých 500 m <sup>2</sup> další 1 zkouška
7)	Odolnost vůči CHRL	Při ploše povrchu konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 100 m <sup>2</sup> další 1 zkouška	Při ploše povrchu konstrukce do 200 m <sup>2</sup> 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> další 1 zkouška	Při ploše povrchu konstrukce do 1000 m <sup>2</sup> 5 zkoušek, za každých dalších i započatých 1000 m <sup>2</sup> další 1 zkouška
6), 7), 15), 16), 17), 18)	Koroze výztuže	Při ploše povrchu konstrukce do 50 m <sup>2</sup> destruktivně (odsekáním krycí vrstvy) 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> povrchu další 1 zkouška. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká nebo žebírková apod.)	Při ploše povrchu konstrukce do 200 m <sup>2</sup> destruktivně (odsekáním krycí vrstvy) 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> povrchu další 1 zkouška. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká nebo žebírková apod.)	Při ploše povrchu konstrukce do 1000 m <sup>2</sup> destruktivně (odsekáním krycí vrstvy) 15 zkoušek, za každých dalších i započatých 2000 m <sup>2</sup> povrchu další 1 zkouška. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká nebo žebírková apod.)

1), 2), 6), 16), 17), 18)	Tloušťka krycí betonové vrstvy	Při ploše povrchu celé konstrukce do 50 m <sup>2</sup> 3 zkoušky destruktivně odsekáním a 10 zkoušek nedestruktivně, za každých dalších i započatých 100 m <sup>2</sup> další 1 zkouška destruktivně odsekáním a 20 zkoušek nedestruktivně. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká a nebo žebírková apod.)	Při ploše povrchu celé konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 3 zkoušky destruktivně odsekáním a 10 zkoušek nedestruktivně, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> další 1 zkouška destruktivně odsekáním a 20 zkoušek nedestruktivně. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká a nebo žebírková apod.)	Při ploše povrchu celé konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 3 zkoušky destruktivně odsekáním a 10 zkoušek nedestruktivně, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> další 1 zkouška destruktivně odsekáním a 20 zkoušek nedestruktivně. V sondách se současně určuje druh výztuže (zda je hladká a nebo žebírková apod.)
8), 9)	Přilnavost nátěrového systému k podkladu	Při ploše povrchu celé konstrukce do 50 m <sup>2</sup> 3 stanovení odtrhovou zkouškou a 3 mřížkovou zkouškou, za každých dalších i započatých 100 m <sup>2</sup> další 2 stanovení odtrhovou zkouškou a 2 mřížkovou zkouškou	Při ploše povrchu celé konstrukce do 50 m <sup>2</sup> 3 stanovení odtrhovou zkouškou a 3 mřížkovou zkouškou, za každých dalších i započatých 100 m <sup>2</sup> další 2 stanovení odtrhovou zkouškou a 2 mřížkovou zkouškou	Při ploše povrchu celé konstrukce do 300 m <sup>2</sup> 5 stanovení odtrhovou zkouškou a 10 mřížkovou zkouškou, za každých dalších i započatých 1000 m <sup>2</sup> další 5 stanovení odtrhovou zkouškou a 5 mřížkovou zkouškou
6), 15), 19)	Tloušťka nátěrového systému	Při ploše povrchu celé konstrukce do 50 m <sup>2</sup> 5 stanovení, za každých dalších i započatých 50 m <sup>2</sup> další 2 stanovení	Při ploše povrchu celé konstrukce do 80 m <sup>2</sup> 5 stanovení, za každých dalších i započatých 50 m <sup>2</sup> další 2 stanovení	Při ploše povrchu celé konstrukce do 200 m <sup>2</sup> 5 stanovení, za každých dalších i započatých 500 m <sup>2</sup> další 2 stanovení
7) – zk. vodotěsnosti, in situ	Vodotěsnost nátěrového systému	Při ploše povrchu celé konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 1 stanovení, za každých dalších i započatých 100 m <sup>2</sup> další 1 stanovení	Při ploše povrchu celé konstrukce do 100 m <sup>2</sup> 1 stanovení, za každých dalších i započatých 200 m <sup>2</sup> další 1 stanovení	Při ploše povrchu celé konstrukce do 200 m <sup>2</sup> 1 stanovení, za každých dalších i započatých 500 m <sup>2</sup> další 1 stanovení

- |                             |                          |                |
|-----------------------------|--------------------------|----------------|
| 1) vizuální kontrola        | 11) pH roztoku           | 21) uchýlkoměr |
| 2) akustické trasování      | 12) REM                  | 22) tenzometr  |
| 3) podrobná analýza trhlín  | 13) DTA analýza          |                |
| 4) tvrdoměrné metody        | 14) RTG analýza          |                |
| 5) optické metody           | 15) UZ impulsní metoda   |                |
| 6) elektromagnetická metoda | 16) radiografická metoda |                |
| 7) odběr jádrových vývrtů   | 17) termografická metoda |                |
| 8) odtrhová zkouška         | 18) sekaná sonda         |                |
| 9) mřížková metoda          | 19) vryp                 |                |
| 10) FF test                 | 20) deformetr            |                |

## **4. Požadavky na sanační materiály dle ČSN EN 1504**

Požadavky na sanační materiály upravuje norma ČSN EN 1504 Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí. Norma je členěna do deseti částí. Ve všech částech normy jsou uvedeny požadavky a zásady pro použití jednotlivých sanačních zásahů na degradovanou betonovou konstrukci včetně zkoušek. Materiály, které budou aplikovány na opravu konstrukce, musí být kompatibilní s betonovým podkladem a konstrukcí. Norma taktéž upravuje mechanicko fyzikální vlastnosti správkových hmot a jejich použití. Vypracovaný projekt sanace konstrukce vychází ze závěrečných zpráv na základě stavebně technických průzkumů, s využitím výsledků vybraných diagnostických metod, které určily přesnou příčinu vad a poruch na konstrukci, včetně doporučení dalšího postupu. Správný návrh technologie sanace železobetonové konstrukce je důležitým krokem k zajištění a prodloužení životnosti konstrukce a požadované provozní funkci, pro kterou byla postavena.

### **4.1. Příprava konstrukce pro sanační zásah**

Příprava konstrukce pro sanační zásah má za úkol úpravu konstrukce a to tak, aby následná sanace byla aplikována na již soudržné vrstvy betonu, které zaručí požadovanou přídržnost sanačních materiálů s původním betonovým podkladem. To znamená nutné odstranění zkarbonátované vrstvy betonu, odstranění starých nátěrů, objevujících se biokorozivních vlivů na konstrukci, včetně odbedňovacích prostředků, prachu apod. Příprava konstrukce zahrnuje odstranění kontaminovaných vrstev betonu, zdrsnění povrchu, očištění výztuže od koroze a následné omytí konstrukce vodou od prachu ze stavební činnosti. Při odstraňování určené tloušťky kontaminovaného betonu, která je definována na základě závěrečné zprávy ze STP a projektu, nesmí dojít k narušení statické funkce konstrukce. Po úpravách povrchu požadovaných technologickým předpisem je nutná vizuální kontrola povrchu za pomoci akustické trasovací metody. Odtrhovou zkouškou zjistíme pevnost v tahu připraveného betonového podkladu k sanaci.

#### **Metody pro odstranění nesoudržných částí betonu [2]**

- Pneumatickým bouracím kladivem

- Brokováním
- Pemrlováním
- Tryskáním pomocí abraziva (křemičitého písku)
- Tryskáním vysokotlakým vodním paprskem
- Řezáním diamantovými nástroji
- Rotačními nástroji (frézy, brusky, rotační kartáče)

### **Metody pro očištění výztuže od koroze**

Koroze betonářské oceli se projevuje oxidy železa, jinými slovy nazývaná rez. Koroze oceli způsobuje narušení krycí vrstvy betonu a její následné odpadnutí. Tím dojde k průniku agresivních médií k výztuži, čímž nastane postupná koroze výztuže, která má za následek zmenšení tloušťky profilu prutu.

Beton kolem zkorodované výztuže je nutné odstranit, přičemž dojde k odhalení celé výztuže. Výztuž očištíme na stupeň SA 2 až 2<sup>1/2</sup>, to znamená na stříbřitě šedou podle ČSN EN ISO 8501-1. Očištění výztuže se provádí pomalejším způsobem mechanicky, přičemž dochází k nedostatečnému dosahu ocelového kartáče k zadní části výztuže. Z těchto důvodů se většinou používají elektrické přístroje. Jestliže dosáhla koroze výztuže zmenšení průřezu prutu na úroveň, která staticky neplní svou funkci, je potřebná výměna výztuže nebo její náhrada. K výměně nebo náhradě výztuže je zapotřebí statický výpočet.

### **Druhy metod očištění výztuže**

- Jehlové odstranění rzi
- Vysokotlakým vodním paprskem
- Tryskání pomocí křemičitého písku
- Mechanicky drátěným kartáčem
- Mechanicky pomocí ocelových kartáčů

## **4.2. Ochrana výztuže**

Ochranu výztuže můžeme provést několika různými způsoby. Jednou z možností antikorozní ochrany ocelové výztuže je epoxidový nebo cementový nátěr. Nátěr je nanesen bezprostředně po očištění povrchu obnažené výztuže většinou ve dvojnásobném nátěru. Vrstva nátěru musí

být celistvá s jednotnou tloušťkou vrstvy doporučenou výrobcem. Další možností ochrany je katodická ochrana fungující na principu anody, která je připevněná na výztuž. Anodou prochází elektrický proud, který mění směr průtoku proudu, čímž chrání ocelovou výztuž.

V posledních letech je taktéž používán tzv. inhibitor koroze, který po nanesení na železobetonovou konstrukci pomocí pórů ve struktuře betonu a případných trhlin zajišťuje pasivaci výztuže. Dochází i k lepším výsledkům nepropustnosti betonu. Inhibitory koroze mohou v důsledku času a nestejnoměrné vlhkosti v betonu snižovat svou funkčnost. Jedním z nejlepších inhibitorů koroze z hlediska samotné koroze je dusitan nebo benzoan sodný. [8]

### **4.3. Adhézní můstek**

Adhézní můstek je mezivrstva, která zajišťuje dostatečnou kohezi mezi očištěným betonovým podkladem a následnou reprofilací sanační maltou. Můstek je nanášen tzv. „živé do živého“ nebo „čerstvé do čerstvého“, což znamená, že můstek nesmí po aplikaci zaschnout, ale okamžitě je nanášena další následná sanační vrstva v systému ochrany a opravy. Materiál do podkladu aplikujeme nátěrem štětcem, koštětem nebo nástřikem. Technologický postup pro adhézní můstek stanoví vetřít materiál do struktury podkladu a to tak, aby byl v tomto podkladu dostatečně zakotven. Požadovanou aplikací zajistíme dostatečnou přídržnost s původním podkladem. Chemické složení adhézního můstku je polymercementová suspenze, styrenbutadién, akrylát, polyvinylacetát. Polymercementové adhézní můstky jsou složeny z akrylátů a epoxidů. Můstek na cementové bázi se již dnes moc nepoužívá. Použití adhezních můstků u některých systémů vyráběných výrobcem odpadá, což v praxi znamená úsporu finančních nákladů za jeden pracovní krok. [2]

### **4.4. Sanační hmoty určené pro reprofilaci betonového podkladu**

Reprofilace povrchu znamená zaplnění chybějící části degradovaného betonu, který byl přípravou konstrukce pro sanační zásah odstraněn. Jeden z kardinálních důvodů reprofilace cementového kamene spočívá v uvedení konstrukce do původního stavu, neboť konstrukci navrácí její původní architektonický vzhled. Dalším důvodem je tzv. realkalizace cementového kamene, a tudíž opětovná pasivace betonářské oceli. Neméně důležitým krokem

je doplnění chybějící krycí vrstvy, která vlivem koroze betonu postupně odpadla. Správkové hmoty zaručí zastavení korozivních postupů v betonu a potažmo i výztuže, čímž je prodloužena funkce konstrukce.

Sanační malty jsou velmi specifické. Směsi dělíme podle složení na cementové malty a betony (CC), polymercementové malty a betony (PCC) a polymermalty a polymerbetony (PC). Použití určitého druhu malty záleží na druhu podkladu, na který budou aplikovány, včetně požadavků, které jsou na malty kladeny. Jedná se například o dostatečné zajištění přídržnosti s původním podkladem, minimální mrazuvzdornost v rozsahu T 100, objemové změny, vznik smršťovacích trhlin a odolnost proti pronikání agresivních látek apod. Důležitým požadavkem je také modul pružnosti. Malta, která neplní v konstrukci statickou funkci, bude mít modul pružnosti nižší než je betonový podklad. Naopak požadavek na stejný modul pružnosti s podkladem je kladen u malt, které budou plnit parametr statické funkce. Norma ČSN EN 1504-3 stanovuje požadavky na správkové malty, které musí být splněny pro jejich použití se statickou funkcí a bez statické funkce. [19]

Tab. 3 Požadované základní parametry správkových hmot podle ČSN EN 1504-3 [2]

Parametr	Správkové malty bez statické funkce		Správková malta se statickou funkcí	
	Třída R1	Třída R2	Třída R3	Třída R4
Pevnost v tlaku (ČSN EN 12109)	$\geq 10 \text{ MPa}$	$\geq 15 \text{ MPa}$	$\geq 25 \text{ MPa}$	$\geq 45 \text{ MPa}$
Obsah chloridových iontů (ČSN EN 1015-17 nebo ČSN EN 14629)	$\leq 0,05\%$	$\leq 0,05\%$	$\leq 0,05\%$	$\leq 0,05\%$
Soudržnost (ČSN EN 1542)	$\geq 0,8 \text{ MPa}$	$\geq 0,8 \text{ MPa}$	$\geq 1,5 \text{ MPa}$	$\geq 2,0 \text{ MPa}$
Vázané smršťování / rozpínání <sup>1), 2)</sup> soudržnost po zkoušce (ČSN EN 12617-4)	Bez požadavků	$\geq 0,8 \text{ MPa}$	$\geq 1,5 \text{ MPa}$	$\geq 2,0 \text{ MPa}$
Modul pružnosti (ČSN EN 13412 nebo ČSN EN ISO 6784)	Bez požadavků	Bez požadavků	$\geq 15 \text{ GPa}$	$\geq 20 \text{ GPa}$
Odolnost proti karbonataci (ČSN EN 13295)	Bez požadavků	Bez požadavků	$d_k \leq$ kontrolní beton (MC(0,45))	$d_k \leq$ kontrolní beton (MC(0,45))
<b>Tepelná slučitelnost</b> <sup>1), 2)</sup>	Vizuální prohlídka	$\geq 0,8 \text{ MPa}$	$\geq 1,5 \text{ MPa}$	$\geq 2,0 \text{ MPa}$
Zmrazování a tání soudržnost po 50 cyklech				
Náporové skrápění soudržnost po 30 cyklech				
Cyklování za sucha soudržnost po 30 cyklech				
(ČSN 13687-1 až 5)				

<sup>1)</sup> uvedená hodnota je hodnotou průměrnou a jednotlivé hodnoty nesmí být menší než 75% uvedeného požadavku.

<sup>2)</sup> maximální přípustná průměrná šířka trhliny je  $\leq 0,05 \text{ mm}$ , bez delaminace.

### Aplikace sanačních malt

Nanášení sanačních malt je možné provádět několika způsoby, ruční aplikací materiálu, torketováním (suchým nebo mokřým způsobem), pýchováním, odléváním do bednění, případně oddělené betonování s injektáží. [19]

Ruční aplikace má svá specifická pravidla. Sanační malta je nanášena ihned po vetření adhezního můstku do podkladu, tedy „živé do živého“. Můstek nesmí zaschnout. Malta musí být vtlačena do podkladu, neboť tímto postupem je zajištěna dostatečná přídržnost malty k předupravenému betonovému podkladu. Je potřeba upozornit, že jsou vyráběny sanační systémy výrobci, kdy aplikace adhezního můstku není potřebná. Nahazování malty



na podklad, jako je to klasických omítek, je nepřípustné. Pro finální úpravu povrchu uhlazuje pracovník správkovou maltu navlhčeným hladítkem.

### **Hrubá reprofilace**

Hrubá reprofilační malta je používána pro statickou funkci v konstrukci a je zařazena do třídy R3 a R4. Malta je nanášena v tl. od 5 mm až do 50 mm při ručním nanášení na svislé plochy v jednom pracovním kroku. Při nanášení malty torkrétováním je aplikace hmoty na svislý podklad do tl. 70 mm. Materiály s nanotechnologiemi je možné nanášet až do tl. 120 mm, pomocí strojního zařízení. Správkové malty jsou vyráběny pro dynamické zatížení konstrukce a pro zatížení bez dynamických vlivů na konstrukci.

### **Jemná reprofilace**

Jemnou reprofilací rozumíme tloušťku nanesené vrstvy v rozmezí 1 až 5 mm. Malta je použita jako finální správková malta po vyrovnaní hrubých nerovností maltou pro hrubou reprofilaci. Požadavky na jemnou reprofilační maltu jsou rozdílné ve srovnání s hrubou reprofilací. Tyto malty jsou ve třídě R1 a R2, bez statické funkce na konstrukci.

## **4.5. Povrchová úprava konstrukce – ochranný nátěr**

Ochranné nátěry jsou poslední vrstvou v sanačním systému, neboť zabraňují pronikání agresivních médií ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  apod.) směrem do podkladu, jak ze vzduchu, tak i obsažené v agresivních vodách, čímž zaručí prodloužení životnosti konstrukce. Samotná vrstva bez aplikace sanačních malt není možná vzhledem k tomu, že dosažená tloušťka nátěru se pohybuje od 0,1 mm až do 1 mm. Nátěry jsou vyráběny na bázi akrylátů, epoxidů, silikonů (silanů a siloxanů). Pro chemickou odolnost v nádržích ČOV je požadován nátěr. Použití jednotlivých systému ochrany upravuje norma ČSN EN 1504-2.

### **Výběr některých požadavků na vlastnosti ochranných nátěrů [18]**

- propustnost pro vodní páru a  $\text{CO}_2$ - paropropustnost
- parotěsnost - zabraňují průniku vodní páry konstrukcí
- soudržnost s podkladem
- překlenutí trhlin v podkladu
- vodotěsnost

- odolnost v otěru
- chemická odolnost a odolnost vůči silnému chemickému napadení

### **Tenkovrstvé nátěry**

Nátěr aplikujeme v tloušťkách od 0,1 mm do 0,2 mm. Většinou nátěr provádíme ve dvou až třech vrstvách a jedna z vrstev nátěru je penetrace. Nátěr může být probarvený nebo bezbarvý. Tenkovrstvý ochranný nátěr zabraňuje průniku agresivních médií v kapalném i plynném skupenství, přičemž zajišťuje chemickou odolnost konstrukce. Nátěr může být buď paropropustný a nebo nepropustný pro vodní páru (parotěsný), který je nepropustný pro vodu. Nátěry musí odpovídat funkčním požadavkům stanovených na ochranu konstrukce normou.

### **Vícevrstvé nátěry**

Vícevrstvé nátěry jsou realizovány v tloušťkách od 0,2 mm až do 1,0 mm. Větší tloušťka nátěru zaručuje delší životnost ochrany konstrukce před možností jejího mechanického poškození. Vícevrstvé nátěry překlenují trhliny. Fyzikálně chemické vlastnosti vícevrstvných nátěrů jsou stejné nebo podobné, jako u nátěru tenkovrstvných.

### **Impregnační nátěry**

Impregnační nátěry vnikají do betonového podkladu, který zpevní a sníží jeho povrchovou pórovitost. Jedná se o nízkoviskozní látky, které velmi dobře vnikají do podkladu. Póry jsou po aplikaci impregnačního nátěru plně zaplněny.

### **Hydrofobní nátěry**

Hydrofobní nátěry jsou paropropustné. Zabraňují průniku vody do konstrukce, včetně chemikálií obsažených ve vodě. Póry cementového kamene nejsou zaplněny nátěrem, ale jen potaženy. Hydrofobní nátěry jsou většinou bezbarvé, tudíž většinou nedochází k viditelné změně barvy betonového povrchu.

### **Krystalizační nátěry**

Krystalizační nátěry působí na chemické bázi, které se aktivují při styku konstrukce s vodou nebo vlhkostí a vytvářejí krystalky vyplňující póry v betonu. Krystalizace betonového podkladu trvá po dobu výskytu vody a vlhkosti v konstrukci. Pokud dojde k vlhkostní změně v konstrukci, krystalky se v pórech zmenší. Opětovně reagují zvětšením při zvýšené vlhkosti v podkladu.

#### **4.6. Injektáž trhlin, případně statické zpevnění konstrukce**

Norma ČSN EN 1504-5 specifikuje požadavky na injektážní materiály. Chemickou injektáží zajistíme vyplnění trhlin, kaveren a mezer, které mohou vzniknout následkem nekvalitně technologicky uloženého čerstvého betonu nebo působením chemických médií na konstrukci. Injektáží zabráníme vnikání vody a agresivních plynů dále do konstrukce, neboť způsobují postupnou degradaci cementového kamene. Rovněž pomocí injektáže staticky zpevníme konstrukci, přičemž dojde k jejímu zesílení. Injektážní materiály jsou vpravovány do konstrukce tlakovou a beztlakovou injektáží. Šíře injektovatelných trhlin se pohybuje v rozmezí od 0,1 do 0,8 mm. Použité injektážní hmoty musí splňovat určité parametry, mezi které patří soudržnost odtrhovou zkouškou, objemová změna, injektovatelnost do suchého a nesuchého média, vodotěsnost, slučitelnost s betonem apod. Kontrolu provádíme pomocí jádrových vývrtů odebraných z oblastí konstrukce, které jsou pro zaplněné trhliny charakteristické. Jádrové vývrty, které lze pokládat za zaplněné, jsou takové, u nichž se při rozštípnutí vývrtu v rovině trhliny objeví lomová plocha, na které je ve vyplňovaném materiálu méně než 20% plošných podílů nezaplňených. [20]

##### **Materiály používané pro injektáže [20]**

- epoxidové pryskyřice
- polyuretanové pryskyřice
- gely
- cementy

## **5. Přehled zkušebních postupů vedoucích ke správnému návrhu sanační technologie**

### **5.1. Nedestruktivní metody**

Jedná se o diagnostické metody, kdy nedochází k destrukci zkušebního tělesa a konstrukce, přičemž při zkoušce samotné může dojít ke kosmetickému poškození povrchové vrstvy konstrukce. Příkladem jsou tvrdoměrné metody, kdy dojde k otisku nebo vrypu na povrchové vrstvě konstrukce. Nedestruktivní zkoušky probíhají přímo v terénu, to znamená přímo na konstrukci. Nespornou výhodou těchto zkoušek je možnost jejich opakování.

#### **Druhy nedestruktivních metod [35]**

- Vizualní kontrola
- Akustická trasovací metoda
- Podrobná analýza trhlin
- Tvrdoměrné metody
- Optické metody
- Ultrazvuková impulzová metoda
- Elektrické metody
- Radiometrické a radiografické metody

### **5.2. Přehled nedestruktivních diagnostických metod**

#### **Vizuální metoda**

Podstatou metody je vizuální prohlídka stavby se zaznamenáním veškerých viditelných odchylek, které se označí barevně přímo na konstrukci a do projektové dokumentace. Prohlídka konstrukce zajistí a zkontroluje geometrický tvar konstrukce, korozi betonu a při chybějící krycí vrstvě korozi ocelové výztuže. Kontrolou zjistíme přítomnost trhlin

s předběžným určením druhu trhlin a identifikaci statických poruch. Diagnostickými postupy zjistíme šířku trhlin a změříme délku obnažené výztuže na konstrukci.

### **Vizuální vady vyskytující se na betonové konstrukci [39]**

- Trhliny
- Vápenné výkvěty a výluhy
- Porušení a odpadávání krycích vrstev betonu vedoucích k obnažení výztuže
- Štěrková hnízda a šterkové pruhy
- Velikost vzduchových pórů na povrchu konstrukce
- Chemická koroze betonu
- Opotřebení působením mrazu
- Poškození vlivem provozu konstrukce

### **Akustická trasovací metoda**

Akustickou trasovací metodou určujeme dutá místa na konstrukci pomocí kovové kuličky umístěné na tyči a jejím posunem nebo poklepem na povrch konstrukce. Tímto postupem lokalizujeme změnu zvuku, neboť přímou odezvou jsou dutá místa v konstrukci nebo nesoudržné krycí vrstvy. Hlavní předností trasování je odhalení poruch, které nejsou patrné na povrchu konstrukce.

### **Podrobná analýza trhlin**

Analýza trhlin je prováděna současně při vizuální prohlídce stavby nebo konstrukce. Průběh trhlin zakresluje do dokumentace stavby se zápisem šířky trhliny v mm. Pro zviditelnění trhliny na konstrukci, šířky pod 0,1 mm, lehce zvlhčíme konstrukci vodou. Po oschnutí konstrukce zůstává voda v trhlíně, čímž nám zajistí lepší identifikovatelnost z pohledu diagnostiky. Trhliny je možné informativně změřit příložnou srovnávací kartou. Abychom mohli zjistit, zda-li se jedná o tzv. aktivní trhlínu nebo již nerozšiřující se pasivní trhlínu, aplikujeme přilepení sádrové indikační destičky k podkladu konstrukce. Jedná se o sádrovou indikační destičku tloušťky 10-15 mm s přesahem 100 x 80 mm, na kterou se nakreslí průběh trhliny pod destičkou, datum a čas. Kontrola destičky probíhá v pravidelných intervalech včetně zápisu o zjištěných skutečnostech. Pokud je trhlína dále aktivní, dojde po čase

k roztržení sádrové destičky. Kontrola trhlin pomocí sádrové destičky je pouze informativní metodou a použitelná pouze pro vnitřní prostory objektu.

Šířku trhlin měříme pomocí měřících lup s přesností 0,1 až 0,001 mm, mikroskopů, boroskopů, fibroskopů, videoskopů (průběh trhliny), ultrazvuku (zjistíme i hloubku trhliny), příloženými sázecími deformetry, analogovými a digitálními uchýlkoměry a odporovými tenzometry. Použitím destruktivní metody jádrovým vývrtem určíme průběh trhliny s lokalizací místa porušení. [39]

## **Tvrdoměrné metody**

Tvrdoměrnými metodami pomocí odrazových tvrdoměrů zjišťujeme nedestruktivní metodou pevnost betonu v tlaku. Tvrdost materiálu není definovatelná jednoznačná fyzikální veličina. Pevnost betonu v tlaku je možné zjistit pomocí různých diagnostických metod, které ze stejného zkušebního místa mohou podávat rozdílné hodnoty. Mezi jednotlivými tvrdoměrnými metodami existují porovnávací vztahy. Naměřené hodnoty pevností v tlaku jsou převáděny pomocí kalibračních vztahů, z nichž je pak určena informativní pevnost betonu. [35] Pokud potřebujeme přesné hodnoty pevnosti betonu v tlaku, postupujeme pomocí destruktivní metody a zkoušek na zkušebních tělesech vyrobených z jádrových vývrtů.

## **Typy tvrdoměrů**

- Schmidtův tvrdoměr
- Waitzmanův tvrdoměr
- Špičák Ing. Maška a profesora Cigánka
- Kuličkový tvrdoměr

## **Schmidtův tvrdoměr**

### **Typy Schmidtových tvrdoměrů [29]**

- Schmidtův tvrdoměr N, s energií 2,25 J
- Schmidtův tvrdoměr L, s energií 0,75 J
- Schmidtův tvrdoměr M, s energií 30 J

Zkoušku pomocí Schmidtova tvrdoměru provádíme dle ČSN EN 12504-2; ČSN 73 1373 pro zkoušení pevnosti betonu v rozsahu 13 MPa až 60 MPa. Metoda je doporučována ke zkoušení stejnoměrnosti a stejnorodosti betonu, ale i k určení stanovení pevnosti betonu v tlaku při vhodně zvoleném korelačním vztahu. [26]

Schmidtův tvrdoměr je sestaven z razníku, beranu, pružiny a vlečného ukazatele s měřítkem. Zatlačením razníku a uvolněním závěsu dochází k pohybu beranu, který dopadne na razník, odrazí se a posune vlečný ukazatel na měřítku do polohy, která odpovídá hodnotě velikosti odrazu. Zkoušky provádíme na očištěném, přirozeně vlhkém a suchém povrchu betonové konstrukce, který musí mít minimálně tloušťku 100 mm. Místa, kde je předpoklad výskytu štěrkových hnízd a místa vysoce porézní, nemohou být předmětem zkoušky. Příprava podkladu je upravena pomocí brusného papíru, přičemž jsou očištěny hrubé výstupky a uvolněný materiál na povrchu. Na zkoušeném povrchu nesmí zůstat voda. Přiložíme kladívko ke zkoušené ploše ve směru kolmém na betonový povrch. Tvrdost betonu je definována odskokem ocelového úderníku, který je pružinovým mechanismem vymršťen na zkoušený podklad. Na stupnici je pak odečtena energie rázu, tedy pevnost v tlaku betonového podkladu. Na každé zkušební ploše je provedeno nejméně devět zkušebních čtení. Vtisk po úderu je kontrolován, jestli je povrch porušen. Pokud je vtisk poškozen v důsledku vzduchových pórů, hodnota vtisku není zaznamenána. Druh podkladu může naměřené hodnotit ovlivnit v nepřesnosti měření. Korekci výsledné naměřené pevnosti betonu dle směru zkoušení Schmidtovým tvrdoměrem vyhodnocujeme pomocí tabulky. [26]

### **Waitzmanův tvrdoměr**

Dr. Waitzman upravil Poldi kladívko ke zkoušení betonu. Princip metody je založen na úderu kuličkovým kladívkem, který při úderu vtiskne do betonu a do srovnávací tyče vtisk. Pomocí kalibračního vztahu je odvozena pevnost betonu v tlaku při zhodnocení obou vtisků. Hodnocením betonu je přímé měření jeho tvrdosti. V dnešní době je metoda použita jen výjimečně.

### **Špičákové metody**

Mezi nejznámější špičákové metody patří Maškův špičák a upravený špičák profesora Cigánka. Pomocí těchto metod lze hodnotit betony nižších tříd a tak lze rychle zjistit kvalitu

povrchových vrstev betonu. Zkouška je založena na zarážení ocelového špičáku do vyznačené zkušební části betonu jasně určenou energií úderu. Zjišťujeme počet rázů, aby kuželová špice byla zaražena postupně do 5 mm, 10 mm a 15 mm předepsaných hloubek. Z počtu rázů kalibračním vztahem zjistíme pevnost betonu s nezaručenou přesností. Přesnost zkoušky se pohybuje mezi  $\pm 20\%$ .

## **Optické metody**

Optické metody používáme všude tam, kde potřebujeme provést kontrolu nepřístupných míst.

**Inspekční zrcadla** jsou velmi často využívaným nástrojem diagnostika. Zrcadla mají buď teleskopickou nebo ohebnou rukojeť. Osvětlení zajišťuje LED dioda.

**Boroskop** je pevný endoskop. Jedná se o pevnou tyč z nerezavějící oceli, která je odolná vůči korozi a působení kapalin. Na konci tyče je umístěna optická čočka s vícevrstevným potahem, která má za úkol přenášet obraz. Klasické boroskopy mohou mít různé technické parametry, mezi které patří široký rozsah délek pevných tyčí, průměrů, směry pohledu a zorných úhlů. Pevné endoskopy používáme k měření šířky trhlin širokých až 1,5 mm, k určení směru a jejího průběhu, přičemž jejich použití je omezeno na místa bez ohybů a překážek. [36]

**Ohebné fibroskopy** mají flexibilní kónickou trubici, v níž probíhají optická vlákna, přes která je přenášén obraz k diagnostikovi. Hlavní předností ohebných fibroskopů jsou kontroly v místech, kde boroskopy svou délkou tyče nedosáhnou a exponované místo má současně spoustu ohybů. Sondu je možné natáčet do všech čtyřech směrů a přenášený obraz je ve vysoké kvalitě rozlišení a tudíž je možné obraz i zvětšovat. [36]

**Videoskopy**, které pracují na stejném principu jako ohebné fibroskopy, ale jejich předností je přenesení obrazu do digitální podoby a následně do PC, kde je kontrolován průběh diagnostiky konstrukce.

Všechny uvedené sondy je možné používat k diagnostickým prohlídkám i pod vodou.



## **Ultrazvuková impulsová metoda**

Ultrazvuková impulsová metoda (UZ) je často využívanou metodou u STP. Princip je založen na stanovení doby rychlosti šíření UZ vlnění prozvučovaným prvkem a fyzikálně mechanické vlastnosti na základě odvozených vztahů mezi rychlosti šíření UZ vlnění a sledovanými vlastnostmi betonu. [28] Druh materiálu stanoví rychlost šíření vln. Frekvence používaná ve stavebnictví se pohybuje od 20 do 150 kHz, u betonové konstrukce 54 kHz. UZ používáme k identifikaci trhlin a kaveren v konstrukci, zjištění fyzikálně mechanických parametrů jako je modul pružnosti, pevnost v tlaku, stejnorodost betonu, dynamický modul pružnosti, degradace betonu (povrchu). Ze zjištěných hodnot šíření UZ vlnění je nutno vytvořit kalibrační vztahy dvojic. Pro tuto diagnostickou metodu měření UZ používáme přístroj Tico a v současnosti přístroj Pundit. Výstupem měření je doba průchodu ultrazvukových impulzů materiálem s přesností na desetimiliontiny sekundy. Skládá se z přístroje, dvou sond vysílače a přijímače, který pracuje na frekvenci 54 kHz. Uspořádání sond budič a snímač ovlivňuje čas šíření impulzů UZ vln a výsledek měření. [27, 30].

### **Uspořádání sond [27]**

- Přímé (budič a snímač jsou umístěny na protilehlých stranách proti sobě)
- Polopřímé (budič a snímač jsou umístěny na protilehlých stranách ne přímo proti sobě)
- Nepřímé (budič a sonda na stejné straně) – měří se povrchové vlny

Nevýhody měření přístroji, které mohou ovlivnit výsledek naměřených hodnot

- Nepřímé uspořádání sond
- Intenzita přitlaku sond
- Materiál vazebného prostředku
- Vlhkost betonu
- Přítomnost výztuže v konstrukci

## **Elektrické metody**

Elektrické metody se používají především ke stanovení vlhkosti betonu. Měří se odpor stavebního materiálu konstrukce na předem definovaném základě. Pro konkrétní materiál je nutná kalibrační křivka.

## **Elektromagnetické metody**

Poloha výztuže se určuje pomocí elektromagnetické metody. Dále je možné zjistit průměr nebo krycí vrstva výztuže. V praxi se používá přístroj Profometr, D-TECT a Ferroskan.

## **Radiografické metody**

Tyto metody jsou založeny na použití jaderného záření, které jsou tvořeny látkovými částicemi  $\alpha$ ,  $\beta$  nebo protony s pronikavým zářením, které je tvořeno fotony (rentgenové záření a záření gama) nebo neutrony.

### **Využití metody ke kontrole**

- Uložení ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích
- Vyhledávání trhlin a poruch v betonových konstrukcích
- Měření vlhkosti stavebních hmot

Použití u silně vyztužených železobetonových konstrukcí, přičemž jednotlivé pruty výztuže jsou uloženy těsně vedle sebe, v několika vrstvách nad sebou, případně v průřezech, kde je velké krytí ocelové výztuže. Princip radiografické metody spočívá na specifických vlastnostech záření gama, které je zeslabeno strukturou, jíž prochází, a míra zeslabení je závislá na tloušťce a objemové hmotnosti prostředí. Záření gama je zeslabováno velmi výrazně ocelovou výztuží než betonem. Míra záření je zaznamenána na rentgenový film, kdy po vyvolání vidíme rozložení výztuže v železobetonové konstrukci, a to různým stupněm zčernání. [4]

## **5.3. Destruktivní metody**

Jedná se o metody čistě destruktivní, při nichž dochází k celkové destrukci zkušebního tělesa a k poškození konstrukce. Zkoušky na stejném zkušebním tělese není možné opakovat. Destruktivními zkouškami zjišťujeme přímé údaje k mechanickým vlastnostem zkoušeného materiálu.

## **Druhy destruktivních metod**

- Pevnost v tlaku
- Pevnost v tahu
- Pevnost v příčném tahu
- Modul pružnosti

## **5.4. Přehled destruktivních diagnostických metod**

### **Jádrové vývrty**

Jádrové vývrty patří do destruktivních metod vzhledem k tomu, že dochází k odvrtání vzorků z diagnostikované konstrukce. Vývrty slouží pro získání objektivních fyzikálně mechanických parametrů zkoušené konstrukce. Zkušební tělesa jsou odvrtávána pomocí vrtací soupravy s dutým válcovým korunkovým vrtákem chlazeným vodou. Průměr vývrtu volíme podle poměru mezi průměrem vývrtu a maximálním zrnem kameniva 3:1. V praxi se používá vývrt průměru 100 mm. Minimální počet odebraných vzorků z konstrukce jsou 3 ks. Norma ČSN EN 12504-1 doporučuje provést jádrový vývrt, pokud je to možné, mimo výztuž, která by posléze zkreslovala výsledky zkušebního tělesa. Součástí vývrtu nesmí být ocelová výztuž, která by procházela podélnou osou vývrtu. Jádrové vývrty jsou broušením, odříznutím a koncováním upraveny do tvarů zkušebních těles předepsaných normou ČSN EN 12390-1, v rozmezí 1:1 (odpovídají krychelné pevnosti betonu) a 2:1. (válcové pevnosti betonu). Po odběru vývrtů je nutné vzorky jasně a čitelně popsat a vše zaznamenat do protokolu. [24, 25]

### **Odtrhová zkouška**

Odtrhovou zkouškou zjišťujeme pevnost v tahu betonu a zjištění přídržnosti povrchových vrstev. Na zkušební místo je nalepen zkušební terč o průměru 50 mm. Kolem nalepeného terče se místo těsně prořeže úhlovou bruskou nebo jádrovou korunkou. Velikost místa musí odpovídat průměru terče. Po vytvrzení lepidla se k terči připevní odtrhový přístroj, který umožňuje plynulé zvyšování tahové síly až do meze porušení, tedy odtržení terče od povrchu. Po odtržení terče se vyhodnotí zkouška. Výsledkem je podíl maximální zjištěné síly

a odtržené plochy v MPa. Hodnota přídržnosti se vyjadřuje s přesností na 0,01 MPa. nehodnotí se ty výsledky, u kterých došlo k porušení lepidla od terče nebo podkladního betonu.

## 5.5. Chemické rozbory

Chemický rozbor stanoví stav a míru degradace betonu pro budoucí návrh adekvátního sanačního zásahu na konstrukci. Jedná se o zvláště důležitou diagnostickou metodu v případě železobetonových konstrukcí ČOV, které jsou stále ve styku s agresivní vodou. Korozivní stav konstrukce nastává vlivem agresivních látek, které jsou obsaženy v odpadních vodách nádrží čistíren. Jedná se o vody splaškové a průmyslové. Odpadní vody obsahují chemické sloučeniny, chloridy, sírany, amonné ionty, hydrogenuhličitany, hořečnany, oxidy, cukry, volný CO<sub>2</sub>, agresivní CO<sub>2</sub>. Biokorozivní napadení konstrukce plísněmi a bakteriemi způsobí produkci organických kyselin, kyseliny octové, citronové, šťavelové a mnoha dalších. Chemickým rozbořem určíme bázi cementu, z kterého byl vyroben beton, ať už portlandského, struskoportlandského nebo hlinitanového. To znamená rozbor u starších konstrukcí, kdy hlinitanový cement mohl být použit při výstavbě, což spadá do 60. let minulého století. Působením plynů z ovzduší spolu s atmosférickou vlhkostí patří k dalším neopomenutelným důsledkům eroze betonové konstrukce. Korozivně na konstrukce působí také dešťová voda, která v průmyslových oblastech obsahuje agresivní plyny jako je SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, které vytváří s pomocí vody kyseliny. Kyselé deště mohou mít pH < 6.

### Oxidy reagující s vodou za vzniku kyselin [31]

- $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$  - vznik kyseliny dusičné
- $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$  – vznik kyseliny siřičité
- $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$  – vznik kyseliny uhličitě

Tento soubor negativních chemických vlivů má za následek působení agresivního prostředí, především druh agresivity, koncentrace agresivní složky a množství agresivního roztoku. Výrazně se rovněž uplatňuje propustnost okolního prostředí, rychlost pohybu roztoku, tlak působícího roztoku, jeho teplota a spolupůsobení některých fyzikálních a mechanických činitelů. [9]

## Zkušební vzorky pro chemický rozbor

Určení hloubky kontaminace agresivními médii lze zjistit destruktivní metodou, a to pomocí jádrových vývrtů a sekaných sond. Kontrolu kontaminace je možné provést na vnějším plášti jádrových vývrtů, které mají průměr 100 mm. Jádrový vývrt rozřízneme příčně, tzn. kolmo na podélnou osu vývrtu, přičemž zkušební vzorky jsou odebírány v předem určených 2 mm tloušťkách. Odebrané zkušební vzorky v počtu 3 ks až 5 ks slouží k přesnému zjištění chemických látek a sloučenin v degradované betonové konstrukci. Zkoušky jsou prováděny ex situ v laboratorních podmínkách. Pomocí chemického rozboru jasně definujeme hloubku a chemickou látku, kterou je degradovaná konstrukce promořena. Na základě těchto poznatků, je navržena sanační technologie pro konstrukce s přihlédnutím k vlivu agresivního prostředí.

Tab. 4 Příпустné limity obsahu  $SO_3$  a  $Cl^-$  v jednotlivých materiálech [15,16]

Druh materiálu	$SO_3$	$Cl^-$
Síranovzdorné cementy, pevnostní třída 32,5 N; R; 42,5 N	$\leq 3,0 \%$	$\leq 0,10 \%$ <sup>1), 3)</sup>
Síranovzdorné cementy, 42,5 R; 52,5 N; 52,5 R	$\leq 3,5 \%$	
CEM I; CEM II, pevnostní třída 32,5 N; R; 42,5 N	$\leq 3,5 \%$	
CEM IV; CEM V, pevnostní třída 42,5 R; 52,5 N; 52,5 R	$\leq 4,0 \%$	
CEM III, všechny pevnostní třídy	$\leq 4,0 \%$ <sup>2)</sup>	
Kamenivo pro prostý beton	max. 3,5 % max. 0,2 %	0,10%
Kamenivo pro železobeton		0,04%
Kamenivo pro předpjatý beton		0,02%
Prostý beton		max. 1,0 % <sup>4)</sup>
Železobeton		0,2 % až 0,4 % <sup>4)</sup>
Předpjatý beton		0,10 % až 0,2 % <sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Cementy pro předpínané prvky mohou být vyráběny s nižší požadovanou hodnotou. V tom případě musí být hodnota 0,10 % nahrazena touto nižší hodnotou a ta musí být uvedena v průvodní dokumentaci. [15]

- <sup>2)</sup> Cement druhu CEM III/C smí obsahovat až 4,5 % síranů. [15]
- <sup>3)</sup> CEM III smí obsahovat více než 0,10 % chloridů, avšak v tom případě musí být max. obsah  $\text{Cl}^-$  uveden na obalech a/nebo v průvodní dokumentaci. [15]
- <sup>4)</sup> Pokud se používají příměsi druhu II, které se berou v úvahu pro obsah  $\text{Cl}^-$  se vyjadřuje jako procentní podíl  $\text{Cl}^-$  k hmotnosti cementu a celkové hmotnosti příměsi, které se berou v úvahu. [16]

Tab. 5 Mezní hodnoty agresivní vody působící na beton [16]

Agresivní činitel	Stupeň agresivního působení		
	Slabě agresivní prostředí XA1	Středně agresivní prostředí XA2	Vysoce agresivní prostředí XA3
pH	$\leq 6,5$ a $\geq 5,5$	$< 5,5$ a $\geq 4,5$	$< 4,5$ a $\geq 0,4$
agr. $\text{CO}_2$ (mg/l)	$\geq 15$ a $\leq 40$	$> 40$ a $\leq 100$	$> 100$ až k nasycení
$\text{NH}_4^+$ (mg/l)	$\geq 15$ a $\leq 30$	$> 30$ a $\leq 60$	$> 60$ a $\leq 100$
$\text{Mg}^{+2}$ (mg/l)	$\geq 300$ a $\leq 1000$	$> 1000$ a $\leq 3000$	$> 3000$ až k nasycení
$\text{SO}_4^{-2}$ (mg/l)	$\geq 200$ a $\leq 600$	$> 600$ a $\leq 3000$	$> 3000$ a $\leq 6000$

### Chemická kontaminace betonu agresivními kapalnými látkami

- Koroze I. typu
- Koroze II. typu
- Koroze III. typu

Tab. 6 Kritéria stupňů koroze [6]

Míra koroze	Typ koroze		
	I.	II.	III.
<b>Slabá</b>	Vyluhování podél mechanických trhlin	Narušení povrchu na rozích a hranách	Slabé trhlinky na rozích a hranách
<b>Střední</b>	Vyluhování i jinak neporušenými plochami betonu	Výrazné narušení betonu na rozích a hranách, začínající porušování ploch	Silnější trhlinky na rozích a hranách, první známky bobtnání betonu
<b>Silná</b>	Rozrušení horní vrstvy betonu	Rozrušení horní vrstvy betonu, rozsáhlé porušování ploch	Trhliny i na plochách, odlupování betonu

### Koroze I. typu

Koroze I. typu vzniká vyluhováním hydroxidu vápenatého  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  z cementové matrice do měkké vody, v případě ČOV se jedná o vody dešťové. Výluhem se prohlubuje pórovitost

betonu a snižuje se jeho pevnost. Hydroxid vápenatý je nejlépe rozpustnou složkou v hydratovaném cementu. Výluhem  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  do vody, dochází nejprve k hydrolyze bazických sloučenin, což jsou trikalciumpilíkát  $\text{C}_3\text{S}$  a dikalciumsilikát  $\text{C}_2\text{S}$ . V průběhu času se začnou rozpadat i další nízko bazické sloučeniny. To má za následek ztrátu mechanických vlastností betonu a snížení pH betonu.

Pokud je ve vodě obsažený  $\text{CO}_2$  ve zvýšeném množství, uhličitán vápenatý  $\text{CaCO}_3$  přechází do roztoku  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ . [3] Rychlost koroze je přímo úměrná rychlosti průtoku kapaliny v betonové nádrži. Sloučeniny ve stojatých vodách při chemické reakci s povrchem betonu vytvoří ochranou krustu. Pokud je betonová nádrž, ve které je stálé proudící kapalina – voda, tak k chemické reakci sloučenin nemůže dojít a ochranná krusta se nemůže vytvořit. To znamená, že agresivní voda působí stále na povrch betonu.

## Koroze II. typu

Koroze II. typu vzniká v agresivních kapalinách, které obsahují kyseliny, louhy a rozpustné soli, včetně agresivního  $\text{CO}_2$ . Jedná se zejména o roztoky  $\text{SO}_4$ , Mg, Cl,  $\text{NH}_4$ , síran amonný  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (zemědělské hnojivo, které snižuje pH půdy), síran měďnatý  $\text{CuSO}_4$  (modrá skalice, nejčastěji průmyslově vyráběná měďnatá sůl), síran železitý  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  (hnědá skalice, přidává se do pitné vody a do odpadních vod jako srážedlo) a mnoho dalších uvedených v tabulce.

Tab. 7 Druhy chemických látek způsobující korozi II. typu [6]

Kyseliny silné	Kyseliny slabé	Soli a zásady
fosforečná	uhličitá	hořečnaté ionty
sírová	sirovodíková	amonné soli
chlorovodíková	humínové	hydroxid amonný
dusičná		chlorid amonný, chloridy
		síran hořečnatý

Korozi II. typu dále dělíme na korozi uhličitou, korozi způsobenou alkáliemi a hořečnatou korozi, která je velmi nebezpečná. Vzniká výměnou portlanditu za velmi málo rozpustný brucit  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Nejméně odolný v tomto směru je portlandský cement, odolnějším cementem do betonu je pucolánový cement. [9]

### Koroze III. typu

Koroze III. typu vzniká s pomocí náporové vody, neboť hromaděním sloučenin z agresivního prostředí v pórech cementového kamene vznikají krystalky, které zcela zaplňují jeho póry. V betonu vznikají tlaková napětí a dochází k porušení betonové konstrukce. Při překročení pevnosti v tahu dochází vlivem snížené pevnosti k trhlinám v podkladu. Hlavním představitelem uvedené koroze je síranová koroze, která se dělí na sádrovcovou a sulfoaluminátovou. Problémem třetího stádia koroze je, že v první fázi zvyšuje pevnost betonu, a tudíž je málo kdy rozpoznatelná, pokud není provedena zkouška pomocí REM a v druhé fázi dochází k masivnímu snížení pevnosti betonu.

Korozi sulfoaluminátovou způsobí kalciumsulfoaluminát  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ , jinými slovy ettringit. Korozi sádrovcovou vznikne dihydrát síranu vápenatého  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  s reakcí  $\text{SO}_4$  a  $\text{Ca}^{2+}$ . Vznik sádrovce v cementovém tmelu je provázen zvětšením objemu o cca 100%, neboť molární objem portlanditu je  $33,2 \text{ cm}^3$  a sádrovce cca  $74 \text{ cm}^3$ . [9]

### Roztoky působící na beton dělíme do dvou kategorií [3]

- Slabě agresivní –  $< 300 \text{ mg solí/litr}$ ,  $\text{pH} < 6$
- Velmi agresivní –  $< 1000 \text{ mg solí/litr}$ ,  $\text{pH} < 5$

### Druhy chemických rozborů

- **Kvalitativní chemický rozbor**

Kvalitativním chemickým rozbohem určujeme, jaké prvky nebo sloučeniny jsou přítomny ve zkušebním vzorku. Určité látky při rozboru může signalizovat například změna zbarvení, rozpuštění sedimentu apod.

- **Kvantitativní chemický rozbor**

Kvantitativním chemickým rozbohem zjišťujeme poměr složek ve sloučenině. Jedná se o chemické rozborů nebo fyzikálně chemické. Chemické rozborů jsou založeny na chemické reakci mezi chemickými látkami. Výstupem fyzikálně chemických rozborů jsou vlastnosti, které lze vyjádřit matematicky ve vztahu k množství zjišťované chemické látky.



## **Rentgenová difrakční analýza (RTG analýza)**

Rentgenovou difrakční analýzou zjišťujeme přítomnost minerálů ve zkoušeném betonu, které způsobují karbonataci betonu (ettringit, monosulfát, kalcit aragonit apod.). Jestliže je konstrukce degradována působením agresivních látek z vnějšího prostředí, RTG analýza prokáže interakci mezi cementovým tmelem a agresivní látkou. [2]

## **Diferenční termická analýza (DTA analýza)**

Analýza je založena na měření rozdílu teplot mezi zkoušeným materiálem a inertním standardem současně zahřívány v peci. Jedná se o dynamickou metodu. DTA sledujeme exotermní nebo endotermní pochody, při nichž se vybavuje nebo pohlcuje teplo. Hodnocením je stanovení obsahu jednotlivých složek ve zkoušeném betonu. DTA je metodou identifikační. Mezi další možné analýzy, které můžeme pomocí DTA vyhodnotit, je oxidace, vznik taveniny, krystalizace, reakce v pevném stavu (vznik alitu a belitu), disociace (rozklad uhličitánů, např.  $\text{CaCO}_3$ ) a jiné. Analýzou je možné zhodnocení míry znečištění betonu oleji. Výsledkem zkoušky je diferenční termická křivka.

## **Gravimetrická termická analýza (termogravimetrie-TG)**

Termogravimetrie určuje hmotnostní změny zkoumaného vzorku během plynulých změn teploty. Vyhodnocením jsou zakreslené křivky z deritografu. Křivka poskytne informaci na základě hmotnostní změny zkušební vzorku, čímž určíme jeho složení.

## **Stanovení pH ve výluhu**

Stanovením pH ve výluhu stanovíme podle stupnice na lakmusovém papírku kyselost nebo zásaditost zkušební vzorku. Zkušební vzorky můžeme odebrat několika způsoby. Nejběžnější způsob získání materiálu je pomocí jádrových vývrtů, přičemž je možné použití úlomků betonového podkladu nebo prach z otvorů postupně vyvrtaných v konstrukci. Odebraný materiál rozemeleme a rozmělníme. Po důkladném promíchání kvartací oddělíme  $\frac{1}{4}$  vzorku, který dále rozemeleme a připravíme normou určený 2 g hmotnostní poměr navážky. Navážku, která beze zbytku prošla sítím 0.063 mm, vysušíme při 60°C. Vložíme

do destilované vody a důkladně promícháme. Po sedimentaci suspenze se měří pH roztoku, který stanovíme pomocí lakmusového papírku a/ nebo potenciometrem.

### **Rozbory výkvětů**

Výkvěty na povrchu konstrukce vznikají vlivem rozpustných solí, které jsou tvořeny uhličitánem vápenatým  $\text{CaCO}_3$ , síranem sodným  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (Glauberova sůl, mirabilit), hořečnatým  $\text{MgSO}_4$  (po doplnění vody vzniká  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – hořká sůl) a síranem vápenatým – sádrou  $\text{CaSO}_4$ . V souvislosti s odpadními vodami vznikají na betonovém podkladu soli dusičnanové a mnoho dalších. Po odpaření vody na povrchu zůstane sůl, tzv. odparek. V laboratořích se provádí chemický rozbor výkvětů. Navážka obsahuje 1 g vysušeného vzorku, který se nechá vysušit při  $110^\circ\text{C}$ . Následně se rozpustí v destilované vodě. Nerozpustný zbytek je odfiltrován, vysušen a zvážen. Hmotnost odfiltrovaného zbytku se odečítá od původní navážky a odečet odpovídá vlastní navážce výkvětů. Ve filtrátu se stanoví  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{R}_2\text{O}_3$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Zjištění chloridů se provádí titrací dusičnanem rtuťnatým. Podíl síranů je prokázán vážkově, případně termochemicky. Dusičnany jsou prokázány ve výkvětech po redukci na amoniak destilačně. Pokud jsou výkvěty z větší části nerozpustné, rozbor solí probíhá za pomoci kyseliny chlorovodíkové  $\text{HCl}$ . [4]

### **Snímkování mikrostruktury pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu (REM)**

Rastrovací elektronový mikroskop můžeme nazvat také řádkovací, vzhledem k tomu, že zkušební místo prochází mikroskop jednotlivě po řádcích. K vytvoření zvětšeného obrazu je použit pohyblivý svazek elektronů. Dopadem primárního svazku elektronů na zkušební místo je hlášena informace v detektoru. Jakákoli změna v hlášení informací z přenosu, který určí putující paprsek elektronů po vzorku, je zaznamenána a posléze ze všech zaslaných informací do detektoru je vytvořen obraz. Celkový obraz je přenášén na obrazovku zařízení s vysokou hloubkou ostrosti, která je 300 x větší než u světelného mikroskopu. Maximální rozlišovací schopnost je 7 nm, teoretická 4 nm. Snímkováním kvality betonu používáme zvětšení 3 000 až 5 000 krát. Vzhledem k vysokému rozlišení, můžeme s jistotou určit a pojmenovat novotvary (kalcit, ettringit, aragonit, sádrovec a jiné.) vytvořené v pórech cementového tmele.

## **Infračervená spektroskopie (IR)**

Metoda určená pro zjištění strukturní charakterizaci organických sloučenin. Infračervenou spektroskopii je možné také určit anorganické sloučeniny. IR metoda je založena na měření prostupu elektromagnetického záření v rozsahu několika vlnových délek zkoušeným vzorkem. Zkušební vzorky mohou mít hmotnost jen několik mg a zkoušku lze provést na vzorcích v pevném, kapalném i plynném skupenství.

## **Porozimetrická analýza**

Porozimetrickou analýzou zjišťujeme u betonové konstrukce velikost objemu pórů a jejich přesné rozdělení podle velikostí. Touto metodou je možno vyšetřovat póry o velikosti 3,75 až 7500 nm. [1] Pro oblast pórů s poloměrem  $10^{-3}$  až  $10^{-2}$   $\mu\text{m}$  využíváme nízkoteplotní adsorbce dusíku. Výstupem je stanovení rozdělovací křivky velikosti pórů, přičemž hodnocení výsledků je velmi náročné.

Používanou metodou k určení objemu otevřených pórů včetně jejich rozdělení je rtuťová porozimetrie. Metoda je založena na pronikání rtuti na chování nesmáčejších kapalin v kapilárách. Pro zatřídění pórů se používá integrální křivka rozdělení pórů. [4]

## 6. Závěr

Závěr mé bakalářské práce představuje shrnutí doporučených postupů pro stavební praxi, která v současné době mnohdy řeší, jak správně postupovat při návrhu projektu v procesu ochrany a opravy železobetonových konstrukcí čistíren odpadních vod. Betonové konstrukce ČOV po aplikaci správkových hmot musí odolávat specifickým požadavkům stanoveným pro agresivní prostředí několik desetiletí. Pokud ovšem není přesně diagnostikována příčina korozivního stavu betonu a výztuže, je reálná šance, že po provedení sanačních prací dojde v brzké době k opětovné degradaci již sanovaných konstrukcí. To znamená, že musí být proveden STP betonových konstrukcí ČOV s doporučenou četností zkoušek a vypovídajících diagnostických metod dle TP SSBK III. Doporučení pro stavební praxi je vytvoření zkušebních postupů pro okamžité zjištění obsahu agresivních látek v odebraném vzorku z konstrukce. Vzorky budou odebírány po odstranění degradované vrstvy betonu a před aplikací sanačního systému. Zkouška by byla provedena in situ, což by urychlilo zjištění výsledků pro pokračování v další úpravě podkladu nebo k zahájení jednotlivých sanačních kroků. Velký prostor pro diagnostické metody konstrukcí ČOV jsou chemické rozborů zkušebních vzorků. Na základě těchto podkladů ze závěrečné zprávy STP je navržen projekt sanace konstrukce projektantem spolu se statikem dle platné legislativy.

Realizace vhodně navrženého sanačního projektu stavby je prvním krokem k úspěšné sanaci konstrukce. Druhým krokem je realizace sanačních prací vybranou firmou na základě vyhlášení výběrového řízení. Je potřeba upozornit na nebezpečí přerozdělení zakázky, dalším subdodavatelským firmám, což má za následek vliv na kvalitu provedených prací. Sanační práce by měly provádět jen odborné certifikované firmy se zkušenými a proškolenými pracovníky s kvalifikačními předpoklady pro správnou aplikaci sanačních materiálů dle technologických postupů stanovených výrobcem. Neméně důležité jsou také reference provedených staveb, kterými se může firma prokázat.

### Doporučení:

Pro možnost ověření vlastností sanačních systémů předkládanými výrobci, doporučuji umístění referenčních vzorků do kontaktu s agresivní vodou nádrží ČOV. Doba působení agresivních médií na zkušebních vzorcích by neměla být kratší než jeden rok. Následně bude provedena analýza v laboratorních podmínkách.

### **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat svému konzultantovi Ing. Liboru Žídkovi za ochotu a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

## Seznam doporučené literatury

- [1] BILČÍK, Juraj a Jiří DOHNÁLEK. *Sanace betonových konstrukcí*. 1. vyd. Bratislava: Jaga group, 2003, 151 s. ISBN 80-889-0524-9.
- [2] DROCHYTKA, Rostislav, Jiří DOHNÁLEK, Jiří BYDŽOVSKÝ, Václav PUMPR, Amos DUFKA a Pavel DOHNÁLEK. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III*. Brno: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2012, 265 s. ISBN 978-80-260-2210-7.
- [3] EMMONS, Peter H, Rostislav DROCHYTKA a Zdeněk JEŘÁBEK. *Sanace a údržba betonu v ilustracích*. 1. vyd. Brno: CERM, 1999, 334 s. ISBN 08-762-9286-4.
- [4] KLEČKA, Tomáš, Jiří KOLÍSKO a Petr BOUŠKA. *Zkoušení stavebních hmot a konstrukcí I*. 1. vyd. Praha: Sekurkon, 1999, 112 s. Studijní texty (Sekurkon). ISBN 80-902-7560-5.
- [5] KLEČKA, Tomáš, Petr BOUŠKA a Jiří KOLÍSKO. *Zkoušení stavebních hmot a konstrukcí II*. 1. vyd. Praha: Sekurkon, 1999, 146 s. Studijní texty (Sekurkon). ISBN 80-902-7561-3.
- [6] LEDEREROVÁ, Jaroslava. KOL. *Biokorozní vlivy na stavební díla*. 1. vyd. Praha: Silikátový svaz, 2009, 273 s. ISBN 978-80-86821-50-4.
- [7] MALÝ, Josef a Petr HLAVÍNEK. *Čištění průmyslových odpadních vod*. 1. vyd. Brno: Noel 2000, 1996, 255 s. ISBN 80-860-2005-3.
- [8] MATOUŠEK, Milan a Rostislav DROCHYTKA. *Atmosferická koroze betonu*. Vyd. 1. Praha: IKAS, 1998, 171 s. ISBN 80-902-5580-9.
- [9] PUME, Dimitrij a František ČERMÁK. A KOL. *Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí*. 1993. vyd. Praha: ARCH, 1993. Stavby a rekonstrukce v roce 1993, 1.
- [10] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000, 390 s. ISBN 80-214-1647-5.
- [11] SEIDLEROVÁ, Irena. *Dějiny betonového stavitelství*. 1. vyd. Praha: Informační centrum ČKAIT, 1999, 328 s. ISBN 80-863-6401-1.

- [12] *Trvanlivost betonu a železobetonu: Procesy porušování a způsob zajištění trvanlivosti*. 1998. vyd. Praha: Sekurkon, 1998. 73.
- [13] WASSERBAUER, Richard. *Biologické znehodnocení staveb*. 2000. vyd. ABF: Nakladatelství ARCH, 2000.

## Seznam norem

- [14] ČSN EN 196-1. *Metody zkoušení cementu - Část 2: Chemický rozbor cementu*. 2013.
- [15] ČSN EN 197-1 ed.2. *Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*. 2012
- [16] ČSN EN 206-1. *Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. 2001.
- [17] ČSN EN 1504-1. *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí: Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 1: Definice*, 2006.
- [18] ČSN EN 1504-2. *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí: Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 2: Systémy ochrany povrchu betonu*. 2006.
- [19] ČSN EN 1504-3. *Výrobky pro ochranu a opravy betonových konstrukcí: Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 3: Opravy se statickou funkcí a bez statické funkce*. 2006.
- [20] ČSN EN 1504-5. *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí: Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 5: Injektáž betonu*. 2013.
- [21] ČSN EN 1504-9. *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí: Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 9: Obecné zásady pro používání výrobků a systémů*. 2009.
- [22] ČSN EN 1744-1. *Zkoušení chemických vlastností kameniva - Část 1: Chemický rozbor*. 1998.
- [23] ČSN EN ISO 8501-1. *Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných povrchů - vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků*. 1997.
- [24] ČSN EN 12390-1. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1: Tvar, rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa*. 2013



- [25] ČSN EN 12504-1. *Zkoušení betonu v konstrukci - Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku*. 2009.
- [26] ČSN EN 12504-2. *Zkoušení betonu v konstrukcích: Část 2: Nedestruktivní zkoušení - stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem*. 2013.
- [27] ČSN EN 12504-4. *Zkoušení betonu - Část 4: Stanovení rychlosti ultrazvukového impulsu*. 2005.
- [28] ČSN 731371. *Nedestruktivní zkoušení betonu: Ultrazvuková impulsová metoda zkoušení betonu*. 2011.
- [29] ČSN 731373. *Nedestruktivní zkoušení betonu: Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*. 2011.

## Seznam článků

[29] ĎURĐOVÁ, Libuše a Pavel LEBER. Biokoroze betonu a možnosti optimální sanace. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, roč. 2008, č. 2. 63 s. ISSN 12133116

[30] CIKRLE, Petr, Dalibor KOCÁB a Ondřej POSPÍŠIL. Zkoušení betonu ultrazvukovou impulsovou metodou. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, roč. 2013, č.3. 74 s. ISSN 12133116

[31] HANUŠ Vít a Petr ŠTEMBERK. Vliv okolního prostředí na výsledné vlastnosti betonu. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, roč. 2012, č. 2. 62 s. ISSN 12133116

[32] JANOTKA, I, I KRAJČÍ a A ŠPAČEK. Karbonatacia betónu železobetonových konštrukcií – část I.: základné poznatky. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, roč. 2011, č. 3. 72 s. ISSN 12133116

## Seznam internetových odkazů

[33] FOJTIK, Tomáš. Současný stav problematiky alkalicko - křemičité reakce v betonu a metody její detekce. In: [online]. [cit. 2014-02-25]. Dostupné z: [http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/04\\_Fyzikalni%20a%20stavebne%20materialove%20inzenyrstvi/4\\_01\\_Fyzikalni%20a%20chemicke%20vlastnosti%20stavebnich%20hmo t/Fojtik\\_Tomas.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2004texty/pdf/04_Fyzikalni%20a%20stavebne%20materialove%20inzenyrstvi/4_01_Fyzikalni%20a%20chemicke%20vlastnosti%20stavebnich%20hmo t/Fojtik_Tomas.pdf)

[34] PRAŽSKÉ VODOVODY A KANALIZACE. Historický vývoj pražského stokování a čištění odpadních vod. In: [online]. [cit. 2014-02-7]. Dostupné z: <http://www.pvk.cz/clanek/historicky-vyvoj-prazskeho-stokovani-a-cistení-odpadnich-vod.ht ml#.U2JzBiyKDIU>

[35] MYNARČÍK, Petr. Bakalářská práce. Diagnostika betonových konstrukcí. In: [online]. [cit.2014-02-15]. Dostupné z <http://dspace.vsb.cz/handle/10084/78374/browse?value=Mynar%C4%8D%C%ADk%2C+Petr&type=author>

[36] OLYMPUS. Boroskopy. In: [online]. [cit. 2014-02-15]. Dostupné z: <http://www.olympus-ims.com/cs/swing-prism-borescopes/>

[37] POLITIKA JAKOSTI POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ. TP 72. Diagnostický průzkum mostů. In: [online]. [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: [http://www.pjpk.cz/te\\_po.htm](http://www.pjpk.cz/te_po.htm)

[38] POLITIKA JAKOSTI POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ. TP 88.Oprava trhlin v betonových konstrukcích In: [online].[cit. 2014-04-28]. Dostupné z: [http://www.pjpk.cz/te\\_po.htm](http://www.pjpk.cz/te_po.htm)

[39]ŽÍDEK, Libor. Diagnostika betonových a železobetonových konstrukcí. In: [online]. [cit. 2014-04-29]. Dostupné z:[http://www.fast.vsb.cz/export/sites/fast/206/cs/resene-projekty/frvs-2009-2529/6\\_diagnostika\\_betonovych\\_a\\_zelezobetonovych\\_konstrukci.pdf](http://www.fast.vsb.cz/export/sites/fast/206/cs/resene-projekty/frvs-2009-2529/6_diagnostika_betonovych_a_zelezobetonovych_konstrukci.pdf)

## Seznam tabulek

*Tab. 1 Doporučené četnosti zkoušek pro předběžný stavebně technický průzkum [2]*

*Tab. 2 Doporučené četnosti zkoušek pro podrobný stavebně technický průzkum [2]*

*Tab. 3 Požadované základní parametry správkových hmot podle ČSN EN 1504-3 [2]*

*Tab. 4 Přípustné limity obsahu  $SO_3$  a  $Cl^-$  v jednotlivých materiálech [15, 16]*

*Tab. 5 Mezní hodnoty agresivní vody působící na beton [16]*

*Tab. 6 Kritéria stupňů koroze [6]*

*Tab. 7 Druhy chemických látek způsobující korozi II. typu [6]*

## Příloha Fotodokumentace

Soubor vad a poruch na železobetonových konstrukcích ČOV



Obr.1 Dilatační spára sanovaná správkovou maltou



Obr.2 Detail dilatační spáry



Obr.3 Nevhodně sanovaná dilatační spára



Obr.4 Nerespektování dilatační spáry



Obr.5 Nerespektování dilatační spáry



Obr.6 Biokoroze nevhodně sanované dilatační spáry sanační maltou s perlínkou



## Soubor vad a poruch na železobetonových konstrukcích ČOV



Obr.7 Poškození konstrukce mrazem,  
pracovní spára



Obr.8 Injektáž pracovní spáry  
polyuretanovou pryskyřicí



Obr.9 Štěrkové hnízdo ve svislé k-ci



Obr.10 Nízké krytí výztuže



Obr.11 Nedostatečné krytí betonové výztuže,  
prokreslení korozních zplodin



Obr.12 Degradovaný povrch k-ce, místo pro  
provedení sekané sondy



## Soubor vad a poruch na železobetonových konstrukcích ČOV



Obr.13 Biokorozivní vlivy na konstrukci



Obr.14 Biokoroze na betonovém povrchu



Obr. 15 Rozpad betonové římsy, destrukce vnějšími vlivy



Obr.16 Degradace betonových částí objektu



Obr.17 Průsaky na vnější části konstrukce



Obr.18 Přibetonované kari sítě



## Soubor vad a poruch na železobetonových konstrukcích ČOV



Obr.19 Ponechaný kus dřeva v betonu, odvrtný jádrový vývrt



Obr.20 Detail dřeva v betonu



Obr.21 Odebraný jádrový vývrt se zabudovanou dřevěnou deskou



Obr.22. Odebraný jádrový vývrt v místě svislé trhliny



Obr.23 Rozpulený jádrový vývrt - AKR



Or.24 Detail alkalicko křemičité reakce